

## 11 治水と環境が両立した持続可能な河道管理技術の開発

研究期間：平成 28 年度～33 年度

プログラムリーダー：水環境研究グループ長 森 吉尚

研究担当グループ：水環境研究グループ（河川生態チーム、自然共生研究センター）、  
寒地水圏研究グループ（水環境保全チーム）

### 1. 研究の必要性

河川、湖沼などの水域は生物多様性の重要な基盤であり損失が続いている。今後は具体的な河川環境の管理目標を設定し、生物多様性の損失の回復と良好な状態の維持が急務となっている。一方で、地球規模の気候変動により水害の頻発化・激甚化が懸念されている。整備対象とする河道計画流量の増加に伴い、河道掘削の必要性も増加している。そこで、管理目標を明確にしながら、防災・減災と自然環境を一体不可分なものとして捉え、河道管理を推進することが必要となる。

### 2. 目標とする研究開発成果

本研究開発プログラムでは、河川環境の保全・形成地区の設定に基づく河道計画・設計・維持管理技術の開発を目的とし、以下の達成目標を設定した。

- (1) 河川景観・生物の生育・生息場等に着眼した空間管理技術の開発
- (2) 河道掘削等の人為的改変に対する植生・魚類等の応答予測技術の開発
- (3) 治水と環境の両立を図る河道掘削技術・維持管理技術の開発

### 3. 研究の成果・取組

「2. 目標とする研究開発成果」に示した達成目標に関して、平成 29 年度までに実施した研究の成果・取組について要約すると以下のとおりである。

#### (1) 河川景観・生物の生育・生息場等に着眼した空間管理技術の開発

本研究は、河川景観、生物の生育・生息場の観点から環境の質が高い区間・箇所を保全すべき拠点と位置づけ、拠点抽出技術を開発するとともに、生物については保全対象となる生物が持続的に生育・生息できるための面積や配置方法についての研究を行うものである。28、29 年度は、保全すべき拠点を抽出する技術の開発を行った。

景観、人の利用の観点からは、「景観保全区間」（傑出した景観資源のある場）、「景観形成区間」（身近な景観資源、人の利用可能性が高い場）を設定し、既存文献分析及び事例調査から、これらの区間（拠点）を抽出するための評価軸を検討した。検討結果から、「整備に必要なスペース」、「景観資源」、「立地特性」等の評価軸（案）を提示した。また、景観形成区間の整備に必要な空間スペースを評価する指標について検討を行った。

生物に関しては、植物について、保全すべき植物群落が持続的に成立する箇所を保全優先地区（ホットスポット）とし、これらの分布と成立条件を明らかにした。沈水植物群落は、成立後の年数が新しく土砂が堆積せず、さらに湧水が流入するたまりに持続的に成立することが分かった。抽水植物群落（ヨシ群落）では、地形変化のないところで持続的に成立し、堆積により他の群落へ遷移することから、地形が堆積傾向にない箇所を保全優先地区として抽出した。

また、鳥類について、鬼怒川を対象として、鳥類種の分布と植生基本分類及び環境条件との関係性の解析を実施した。

#### (2) 河道掘削等の人為的改変に対する植生・魚類等の応答予測技術の開発

直轄河川については、河道掘削等の人為的インパクトを最小化し、河道掘削後の水域・陸域環境の生物多様性

の向上、維持管理の簡素化に資する河道掘削方法を開発する。

陸域においては、平成 28 年度は、河道掘削による砂礫河原再生、樹林化抑制を低コストで行うために、旧水路部を活用し洪水流を陸域へ導水する水路掘削と平面掘削の併用による砂礫河原再生を国道交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所と共同で検討した。その結果、洪水流の陸域への導流・越流に成功し、砂礫河原再生、樹林化抑制に成功した。また、掘削コストは 1/3 に圧縮することに成功した。同時に、近年、開発・普及が進む UAV の画像を、人工知能を用いて分析し、植物群落境界の自動検出・表層土壌材料の自動判読の可能性を確認した。平成 29 年度は、UAV 画像と AI (Artificial Intelligence : AI) を用いた植生図の自動作成の可能性の検証、中小面積の植物群落動態 (出現・消失) を再現できない PCC 植生動態モデルの改良、近年、建築・土木の三次元化・情報化で注目される CIM (Constriction Information Modeling/Management) の有用性を検討した。その結果、UAV 画像と AI を用いた植生図の自動作成の可能性の確認、PCC 植生動態モデルの中小面積の植物群落動態の再現の成功、CIM 技術の適用による河道内地形・植生動態の再現の可能性を確認した。

水域では、現在は魚類等の生息環境を考慮するなどのため、主に平水位以上での河道掘削が実施されているが、今後は魚類の生息・産卵環境に重要な河床を含む低水路河道掘削が増大することが想定される。そのため、河川整備に伴う低水路掘削に際し、魚類生息環境の保全を図るため、魚類生息・産卵環境とリーチスケールでの河床地形・底質との関連性を評価・把握することを目的として研究を実施している。平成 28 年度は、ウグイを対象に、河川水辺の国勢調査結果と、PHABSIM による平均合成適性値及び交互砂州の形成領域区分パラメータ  $BI^{0.2}/H$  との関係を検討した。平成 29 年度は、魚類生息場などの河川環境上重要な河床地形の alcove の内、底質が悪化しサケ産卵床数が減少していた alcove の産卵環境を改善のため、主流路から導水するための小規模掘削を実施し、その有効性について検討した。その結果、サケの産卵環境改善としての掘削路造成の有効性について確認した。また、別の河川において、低水路掘削後の河床変動により形成された分流地形と砂州前縁部において河床間隙水温を計測、分流地形が水温環境としてはサケ卵の発眼生育環境に適していることを確認した。

中小河川においては、河道計画・設計時に、河川環境やこれに付随する河道設計技術に関して、定量的に判断できる支援ツールを開発し、新たな設計プロセスを構築することを目指している。28 年度は、シミュレーション上で複数の河道地形案を検討する際に地形形状の変更を容易にするため、河道の 3 次元地形を迅速に処理可能な河道地形編集特化型ツールのプロトタイプを開発した。また、洪水による植物流出指標、魚類の総合的な生息場の良否を判定するツールを開発、実装を行った。29 年度は、シミュレーション上で複数の河道地形案を検討する際に地形形状の変更を容易にするため、河道の 3 次元地形を迅速に処理可能な河道地形編集特化型ツールのプロトタイプを改良した。また、洪水による植物流出指標、魚類の総合的な生息場の良否を判定するツールを改良、実装を行った。

### (3) 治水と環境の両立を図る河道掘削技術・維持管理技術の開発

本研究は、維持管理上有利な河道掘削技術の開発を目指して、低水路掘削河道の河床変動応答特性の把握を目的に実施している。平成 29 年度は、単列砂州発生領域における河道を部分拡幅した際に生じる砂州地形の形成状況を調べる移動床実験を実施した。実験は河道幅に対し拡幅後の幅を 1.8 倍とし、拡幅延長を河道幅の 5 倍から 30 倍までの 4 ケースで行った。今回の実験条件下では、自由砂州 (単列砂州) が拡幅によって形成された強制砂州の影響を受けずに一定速度で移動するケースが観察された。また、平面二次元流況計算により、流量低下後の水深流速を把握した結果、側壁と自由砂州に挟まれた部分に深掘れ箇所が見られ、流速がほとんどみられない部分の形成が見られた。これは、水生生物の生息場や産卵場として重要な機能を有している alcove 地形が形成される可能性が示唆された。

## DEVELOPMENT OF SUSTAINABLE RIVER MANAGEMENT TECHNOLOGY CONSIDERING BOTH FLOOD CONTROL AND ENVIRONMENT

**Research Period** : FY2016-2021

**Program Leader** : Director of Water Environment Research Group  
Yoshinao MORI

**Research Group** : Water Environment Research Group, Cold-Region Hydraulic and Aquatic Environment Engineering Research Group

### Abstract :

We developed a technology to extract bases to be conserved in rivers. From the viewpoint of river landscape and people's use, we examined the evaluation axis for extracting bases from the literature survey and the case study. From the study results, four evaluation axes were presented. Then, by focusing on the cross-sectional shape of the river, we examined an indicator to evaluate the utilization potentials of the space. From the viewpoint of living things, the conservation priority area was set as the conservation priority area where the communities are sustainably targeted for the plant communities to be preserved, and the distribution and formation conditions of these were clarified. In the case study of the Kinugawa river, it was found that the areas of dry grasslands, wet grasslands, and gravel grounds are important for the biodiversity of waterfowl.

To restore sand and gravel riverbed through river channel excavation and to control of woods over growth in low cost, we assessed effectivity of both channel excavation and plan excavation, which introduce the flood flow into the river terrace on sand and gravel riverbed restoration, corroborating with the Chikuma river management office. In the results, the excavation method success to restore the sand and gravel riverbed and control the woods over growth. The excavation method also success to reduce the cost of excavation was reduced to 1/3. Concurrently, application of AI (Artificial Intelligence) on UAV (Unmanned Aerial Vehicle) image, we succeed in automatically recognition of vegetation community boundary and surface bed material.

And we showed validity to channelize to connect sandbar with main stream as rehabilitation of the salmon spawning habitat. In addition, we surveyed hyporheic temperature at the river after removed sand bar. It was confirmed that side channel is warmer than sandbar front. it means suitable for the salmon egg growth as the water temperature environment.

Also, we improved the prototype of the river channel topography editing model tool which can process the three-dimensional topography of the river channel. This tool will be able to facilitate the change of the topography shape on simulation and examine quickly some river channel topography plans. In addition, we improved the tool which can judge the external force carried away plant communities using the Washing Out Index (WOI) and the environmental evaluation of the habitat about general fish.

In this study, in the river channel of the hydraulic environment belonging to the formation area of double-row bar for meso-scale bed configurations, movable bed experiments aimed at investigating the formation of sediment accumulation caused by partial widening to form alcove was carried out. As a re-sult, it became clear that the shape of the sandbar is different depending on the length of the widened part. In the case of the length of the widened part about 5 times the width of the channel, it was con-firmed that even if free bar entered the forced bar, it did not affect the flowing down of the free bar. On the other hand, in the case of the length of the widened part about 10 times, the possibility that the al-cove topography is formed along the river bank after the flow rate reduction was suggested.

**Key words** : *river channel excavation, control of woods over growth*, restoration of gravel riverbed, unmanned aerial vehicle, artificial intelligence, National Survey on River Environment, alcove, Plant Community Cluster, Vegetation Dynamics Model, Civil engineering Information Management

## 11.1 河川景観・生物の生育・生息場に着目した空間管理技術の開発

### 11.1.1 河川環境の保全・形成に資する拠点抽出・配置技術に関する研究

担当チーム：水環境研究グループ（河川生態）

研究担当者：萱場祐一、鶴田舞、田和康太

#### 【要旨】

平成 28・29 年度は、保全すべき拠点を抽出する技術の開発を行った。

河川の景観・利用の観点からは、「景観保全区間」、「景観形成区間」を設定し、既存文献分析及び事例調査から、これらの区間（拠点）を抽出するための評価軸（案）を検討・提示した。また、景観形成区間の整備に必要な空間スペースを評価する指標について検討を行った。

生物に関しては、保全対象とする植物群落を対象に、群落が持続的に成立する箇所を保全優先地区とし、これらの分布と成立条件を明らかにした。また、鳥類を対象とした抽出に着手した。希少性、典型性、特殊性の観点から保全対象種を抽出し、種の分布と植生基本分類および環境条件との関係性の解析を行なった。

キーワード：河川水辺の国勢調査、ホットスポット、鳥類、植生基本分類、河川景観、水辺利用

#### 1. はじめに

陸水域における生物多様性の損失は、現在もその傾向が続いており、深刻な課題となっている<sup>1)</sup>。レッドデータブックの RL 掲載種（1002 種）のうち 50%以上は、生活の全てもしくは一部を淡水域に依存するものである。現状では、洪水等の自然現象や河川の管理に伴い河川環境がどのように変化するか科学的に十分解明されていないが、河川環境の評価手法を確立させ、河川環境の管理目標を具体的に設定することが急務となっている<sup>2)</sup>。

目標設定していくうえで、環境の質が高い区間等は保全を前提とする必要があるが、自然環境、河川景観、人の利用の観点からこうした拠点的な区間を抽出する技術は確立されていない。例えば、平成 26 年 3 月に改訂された「美しい山河を守る災害復旧基本方針」において自然環境、河川景観の観点から重点的に保全を図る区間・箇所（重点区間・箇所）が位置付けられ、これらの区間・箇所ではグレードを上げた災害復旧を行う道筋が示されたが、その具体的な抽出手法は未確立となっている。

以上の背景を踏まえ、本研究では、①河川景観、人の利用から見た景観保全地区及び景観形成地区の抽出技術の開発、②生物の育成・生息場の視点から見た保全優先地区の抽出技術の開発、③生物の適正な生息・生息場配置技術の開発、の 3 つの達成目標を設定し、河川景観、生物の生育・生息場の観点から環境の質が高い区間・箇所を保全すべき拠点と位置づけ、拠点抽出手法を開発する。また、生物については保全対象種が持続的に生育・生息するための

生育・生息場の面積、配置に関する研究を行う。

本報告では、29 年度までに実施した達成目標①（2 章）及び②（3 章：植物・植生、4 章：鳥類）に関する研究内容・成果について述べる。

#### 2. 河川景観、人の利用から見た景観保全地区および景観形成地区の抽出技術に関する研究

検討は、下記に示す手順で行う。

- 1) 河川景観の評価軸の設定
- 2) 河川景観の評価手法の開発
- 3) 景観保全／形成地区の抽出技術の開発

28 年度は 1) について、河川景観計画策定に係る既存文献等の分析、河川景観整備事例の調査分析を行い、「景観保全区間」（傑出した景観資源のある場）、「景観形成区間」（身近な景観資源、人の利用可能性が高い場）（以下、合わせて「重点区間」という。）を抽出するための評価軸を検討した。29 年度は 2) のうち、景観形成区間の整備に必要な空間スペースを評価する指標について検討を行った。

##### 2.1 河川景観の評価軸の設定

###### 2.1.1 方法

図-1 に示す手順で検討を行った。

- ① 河川景観計画策定に係る既往文献<sup>3)~5)</sup>から、河川景観の重点区間の抽出に参考となる事項を整理した。
- ② 景観に係る環境影響評価のガイドライン<sup>6),7)</sup>を参照して、地域の景観特性及びふれあい活動の場の主要な要

素を把握するために必要な情報を整理した。環境影響評価では、評価対象事業（河川、道路等の事業種）の影響を人と自然との豊かなふれあいの観点から評価するために必要な調査事項等が示されている。評価対象となる事業は予め決まっておらず重点区間の抽出を行うものではないが、評価軸の設定に漏れがないか確認する上で参考になると考えた。

- ③ 周辺の景観や地域整備と一体となった河川改修を行い、良好な水辺空間の形成が行われた事例（ふるさとの川整備事業等）を調査し<sup>8) 9)</sup>、整備区間の選定条件を整理した。
- ④ ③の結果と①②の結果を比較し、河川景観重点区間の評価軸を取りまとめた。

**2.1.2 既往文献の整理結果**

重点区間の抽出に参考となる事項について、景観保全区間と景観形成区間に分けて整理した。結果を表-1に示す。

前者はすでに良好な景観である区間を守るものであり、(a)~(c)の3つに分類した。(a)、(b)は法令や調査で保全の必要性が明確化されており、(c)については①の文献で具体例が示されていた。景観保全区間についてはこれららを評価軸として設定する。

後者は整備により景観及び人の利用が向上する可能性が高い区間であり、(d)、(e)、(f)の3つに分類した((e)は(e)に含める)。①と②の文献で共通する事項もあったが、川のポテンシャル(①のみ具体例の記載)、利用ルート・交通量、地域の歴史の変遷(②のみ言及)等、片方でのみ言及している事項もあった。そこで、良好な河川景観整備が行われた事例を調査し、整備区間の選定条件を整理・比較した。

**2.1.3 事例分析結果及び評価軸の提案**

各事例の整備区間の選定条件を表-2にまとめた。選定条件の細目は、表-1を参照しながら事例分析結果に合わせて決定した。ハッチをかけた箇所が、各事例において特に重視された選定条件である。選定条件の細目のうちハッチが1箇所以上あるものは、重点区間の抽出条件として考えら

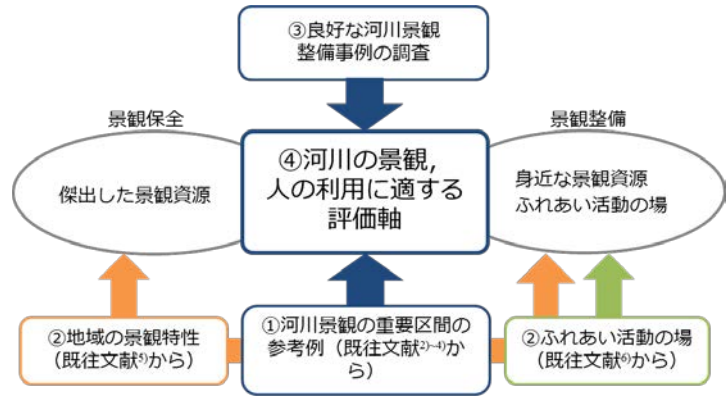


図-1 検討手順

表-1 重点区間の抽出に参考となる事項（文献調査から）

分類		①文献から	②文献から
景観保全区間	(a)自然風景として質の高い区域	法令等で保全が指定されている 既存の公的調査等で価値判断がなされている	法指定地域地区等
	(b)歴史的街並みや構造物がある区域		
	(c)地域を特徴づける景観 (自然的, 歴史的, 文化的)	溪谷, 氾濫原 水害防備林等の樹林地 大きな崖や淵 歴史的な土木構造物	地域の空間の骨格となる要素 (自然, 歴史, 生活の営み)
景観形成区間	(d)重要景観 (歴史・文化)	歴史的な景観が優れている場所 伝統的行事の場	法指定地域地区等 地域を特徴づける歴史・文化的事項
	(e)都市・人々の暮らしとの関わり	まちづくりと一体的な文化的景観の創出を図る箇所	不特定多数の人が集まる公共性・利用性の高い場所 日常的に利用されているルート・通行量 日常的な活動及び場所 (毎日の活動, イベントなど) 人々の利用を前提に設けられた場所・施設 利用可能性がある場 (樹林, 草地, 学校等) 地域の歴史の変遷 (市街化や緑地の変容など)
	(e')主要なふれあい活動の場	都市中心部に近く河川景観の向上が都市にとって重要な所 沿川要素を取り込める所 イベントの場	自然とのふれあい活動が行える施設や整備 (利用状況, 活動の多様性, 活動を支える場の状態, アクセス特性, 利用者数, 利用者属性等)
	(f)川のポテンシャル	分・合流点, 中の島 自然環境が良好な所 感潮部 橋・橋詰	利用可能性がある場 (河川・水辺等)

れ、評価軸に設定できる可能性が高い。特に、(e)の「沿川要素を取りこめる所」は全ての事例に当てはまっており、重要な選定条件と思われる。一方、(e')アクセス特性や利用者数の想定は少なかったが、拠点整備の検討には重要な事項と思われる。

表2 整備区間の選定条件

対象河川	茂漁川	子吉川	横手川	阿武隈川	阿武隈川	坂川	和泉川	糸貫川	一乗谷川	太田川	津和野川	
事業名称	ふるさとの川モデル事業	癒しの川整備事業	ふるさとの川モデル事業	渡利川の架設整備事業	御合地交河川整備事業	ふるさとの川モデル事業	ふるさとの川モデル事業	北方町かわまちづくり	ふるさとの川整備事業	基河川環境整備事業	ふるさとの川モデル事業	
選定条件	細目											
① 重要景観	文化財保護法、景観法等の法令で指定			△ (鳥海山を眺望)					○ (特別名勝)	△ (原爆ドームを眺望)	○ (景観条例) △ (青野山を眺望)	
	歴史的な景観が優れている場所					○ (城下町、石積み)				△ (広島城)	○ (伝説伊弉比)	
	伝説的行事の場			○ (送り盆祭りなど)							○ (灯籠流し)	
② 都市・人々の暮らしとの関わり	まちづくり計画で整備・保全の位置づけ	○		○			○	○	○	○		
	観光拠点			○ (祭りの開催)					○ (観光振興)		○ (観光地)	
	市街地中心部	○	○	○	○	○	○			○	○	
	沿川要素 (学校、公園、史跡等) を取り込める所	○ (旧河道、河畔林)	○ (病院)	○ (横手城址)	○ (渡利小学校)	○ (旧日銀支店長宅)	○ (松戸神社、松龍寺、小山樋門橋)	○ (斜面林)	○ (公園の整備)	○ (史跡公園)	○ (公園)	○ (観光施設)
	イベントの場								○ (戦国祭り)			
	公共性・利用性の高い場所		○ (病院に隣接)	○ (祭りの会場)		○ (散策ルート上)	○ (神社)	○ (遊び場が重なる)	○ (公園に隣接)	○ (中央公園に隣接)		
	アクセス特性 (アクセスルートの種類、移動手段、通行量、所要時間等)		△ (サイクリングロード)			○ (アクセスルート)	○ (駅周辺部)				○	○ (観光ルート)
歴史的変遷	○ (市街地化から旧河道の自然を保全する)			○ (河岸域が植生繁茂し利用困難)	○ (幕府の米蔵、河岸を荷揚げ場として利用)	○ (松戸宿、経済的盤沈下)	○ (斜面林を保全する)		○ (戦国時代朝倉氏の拠点)	○ (被爆の歴史を継承、戦災復興都市緑化)		
③ 川のポテンシャル	水中 (水質等)	△ (清冽な水質)			△ (洲：水鳥の休憩場所)		○ (水質汚濁の再生)		△ (清冽な水質)	△ (清冽な水質)	△ (鯉が泳ぐ)	
	陸上部に利用可能なスペースがある (河岸域、分・合流点、中の島、感潮部)	○ (口隘原、旧河道)	○ (高水敷)	○ (祭り等で高水敷を利用)	○ (磯可原、高水敷、樹木)	○ (合流部)	△ (屈曲部)		○ (高水敷、水際)		○ (高水敷) △ (感潮部)	
	橋・橋詰		△	○ (眺望点、祭りの会場)	△	△				△	○ (眺望点、観光ルート上)	

△：選定条件には直接該当していない事項

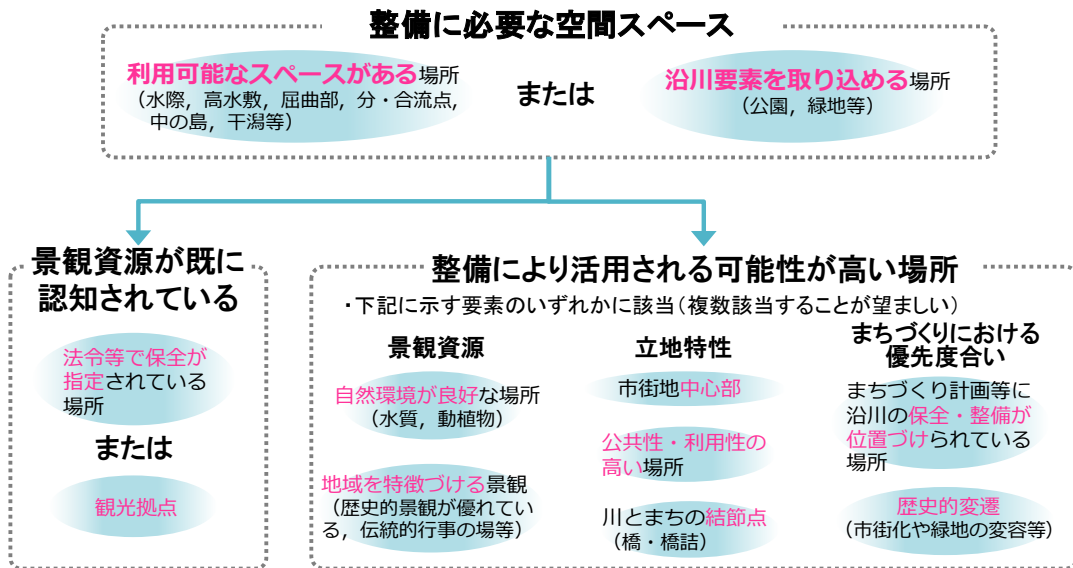


図-2 景観形成区間の評価軸 (案)

評価軸(案)を、図-2に示すように3つに区分した。まず、「整備に必要な空間スペース」が河川区域あるいは沿川にあることが第一条件となる。加えて、「景観資源が既に認知されている」、あるいは「整備することにより今後活用される可能性が高い場所であること」、を選定条件とした。ここで、「整備することにより今後活用される可能性が高い場所」に含まれている“自然環境が良好な場所”については、3.以降で後述する保全優先地区に該当する場合は、保全の検討が必要である。

## 2.2 河川景観の評価手法の開発

### 2.2.1 整備に必要な空間スペースに係る評価指標

3次元的な広がりを持つ空間のうち、河岸横断面形状に着目し、整備に必要な河岸空間の広がりをも簡易に評価する指標について検討した<sup>10)</sup>。

#### ①方法

河川区域のうち平水時に水に浸からない範囲を“河岸空間”と呼び、検討の対象とした(図-3)。土木学会デザイン賞を受賞する等評価の高い水辺空間整備事例のうち、水制など水際部のみを整備事例は除いて事例を選定した。対象事例の概要を表-3に示す。

各事例から河道横断面を1箇所選定して、河岸空間の広がりを表す指標を検討した。水平方向の広がり、河岸空間を構成する高水敷、護岸、堤防、管理用通路等の水平幅

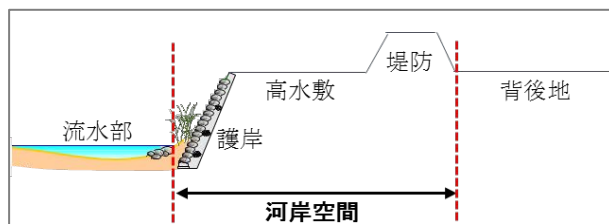


図-3 “河岸空間”の対象範囲

の合計値  $W$  を、鉛直方向には平水位面から河岸空間の最高高さ(堤防天端高または堤内地盤高)の比高  $D$  を設定し、 $W/D$  を算定した。

比較対象として、各事例の河川改修計画において、計画高水流量を流しうる標準的な横断面(以降、「標準断面」という)(勾配 1:0.3~1:2 の単断面または複断面)が設定されていた場合(茂漁川、和泉川、一乗谷川、津和野川)には、同様に  $W/D$  を算定した。一乗谷川の横断面の例を図-4に示す。

#### ②結果

各事例における  $W/D$  関係を図-5に示す。図中の数字は  $W/D$  の算定値である。整備後の  $W/D$  の範囲は 6.0~19.3 であった。一方、河岸幅が広がられた事例(茂漁川、和泉川、一乗谷川、津和野川)における標準断面の  $W/D$  は 1.5~3.2 であり、両者の間に河岸空間の利用ポテンシャルを分ける境界があるものと考えられる。図中に記載した  $W/D=5$  のラインは、河岸空間が全て緩勾配斜面で形成さ

表-3 対象事例とその概要

調査対象(区間)		評価			事業期間(年)	流程	河川規模(対象区間の川幅)	横断形状
		(a)	(b)	(c)				
石狩川水系 茂漁川(北海道恵庭市)	ふるさとの川モデル事業(2.8km)	○			1990-1997	中流域	中小河川(16~50m)	堀込
雄物川水系 横手川(秋田県横手市)	ふるさとの川モデル事業(1.3km)			○	1988-2001	上流域	中小河川(65~135m)	堀込(一部築堤)
子吉川水系 子吉川(秋田県由利本荘市)	癒しの川整備事業(800m)			○	1998-2002	下流域(感潮域)	直轄河川(90~150m)	築堤
阿武隈川水系 阿武隈川(福島県福島市)	渡利水辺の楽校(2.0km)	○	○		1995-2000	中流域	直轄河川(190~220m)	築堤
境川水系 和泉川(神奈川県横浜市)	ふるさとの川整備事業(全体区間のうち約800m)	○	○	○	1990-1997	中流域	中小河川(15~40m)	堀込
九頭竜川水系 一乗谷川(福井県福井市)	ふるさとの川整備事業(全体区間のうち約800m)	○			1995-1999	上流域	中小河川(10~12m)	堀込
木曾川水系 糸貫川(岐阜県北方町)	北方町かわまちづくり(380m)	○			2014-2015	中流域	中小河川(23~90m)	堀込
太田川水系 太田川(広島県広島市)	基町環境護岸整備事業(約880m)	○	○	○	1976-1983	下流域(感潮域)	直轄河川(130~160m)	築堤
高津川水系 津和野川(島根県津和野町)	ふるさとの川モデル事業(全体区間のうち720m)	○	○	○	1991-1996	上流域	中小河川(30~40m)	堀込(一部特殊堤)
白川水系 白川(熊本県熊本市)	緑の区間河川整備事業(約600m)	○			2006~	下流域	直轄河川(75~80m)	特殊堤

(a)土木学会デザイン賞/グッドデザイン賞事例、(b)景観デザイン規範事例集<sup>9)</sup>選定事例、(c)まちづくり効果発現事業<sup>7)</sup>選定事例

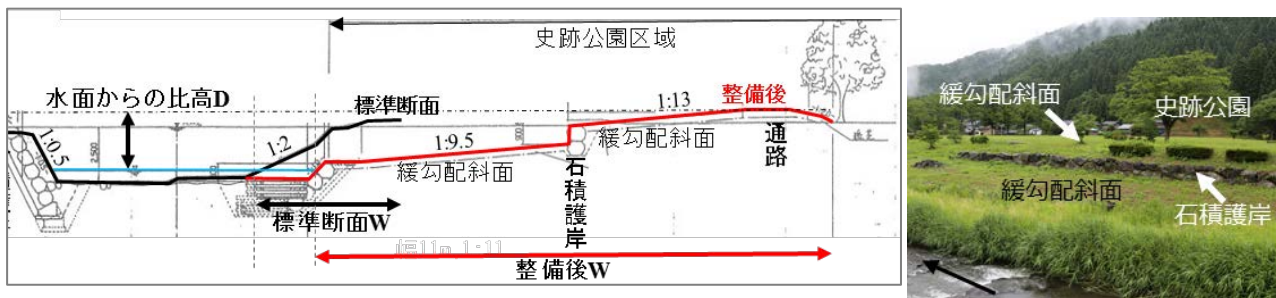


図4 一乗谷川整備箇所の代表的な横断面図及び写真

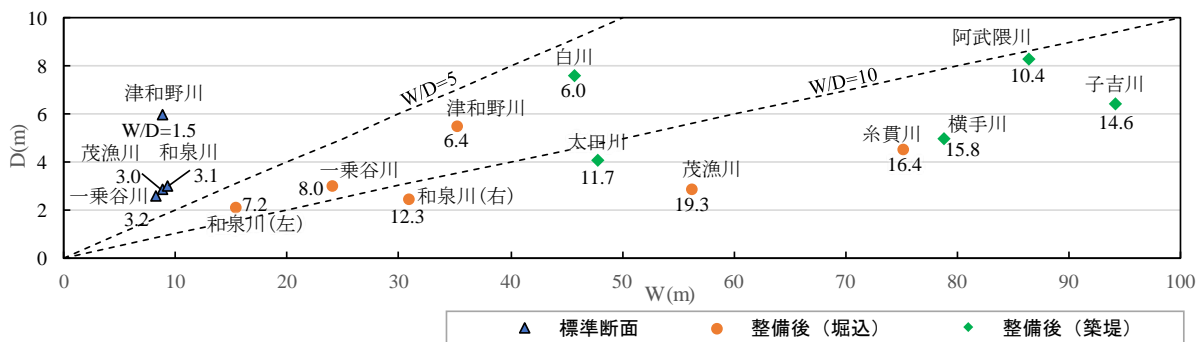


図5 代表横断面の W-D 関係及び W/D の算定結果

れていると仮定した時の勾配 1:5 に相当する。利用率と利用形態が増加する地形勾配は 1:5 より緩い場合と言われており<sup>11)</sup>、利用ポテンシャルの境界位置と相応する。

表4には、事例調査を通じて得られた、利用ポテンシャルと設計の自由度及び利用形態の対応を整理した。W/D が小さい場合、堤内地と一体的な整備(沿川要素を取り込む)を検討する(Wを増大させる)ことで、利用ポテンシャルが増大し、様々な利用形態に対応する空間の形成が可能になると言える。一方、水面との比高 D が大きいと、利用ポテンシャルは減少する。D が大きい要因は主に河川規模と河川改修による河道掘削であり、D を減少させることは現実的ではない。白川のように、勾配を立てた断面を設定する等によりできるだけ狭い幅で高低差を付け、利用ポテンシャルを変化させずに平場や緩勾配斜面の設置スペースを生み出すことが考えられる。なお、護岸の設計基準や人間工学の観点(見えの面積や仰角の大きさが圧迫感を与える<sup>12)</sup>)から、高低差の付け方には限度がある。

③まとめ

河岸空間の広がり表現した W/D は、利用ポテンシャルとの良好な対応関係が見られることから、河岸空間の利用ポテンシャル評価指標になると考えられる。また、この指標は河川規模によらず一律に適用することが可能であり、汎用性が高いものと思われる。

2.2.2 今後の予定

「整備により活用される可能性が高い場所」に係る評価指

表4 利用ポテンシャルと設計・利用形態の対応整理

利用ポテンシャル	設計の自由度	利用形態
W/D ≤ 5	<ul style="list-style-type: none"> <li>①管理用通路(天端) + 1:2勾配斜面</li> <li>【一乗谷川・茂漁川標準断面】</li> <li>②管理用通路(天端) + 積み護岸 + 散策路(水際)</li> <li>【和泉川・津和野川標準断面】</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>管理用通路・散策路:</li> <li>・<b>拠点の利用</b>(風景鑑賞, 釣り等)</li> <li>・<b>線的使用</b>(散策, ジョギング, サイクリング)</li> </ul>
5 < W/D ≤ 10	<ul style="list-style-type: none"> <li>③上記①の斜面勾配を緩くする(1:5~1:10勾配)</li> <li>【和泉川(左)】</li> <li>③に加えて平場(1:10勾配より緩い)(天端または水際)</li> <li>【津和野川・一乗谷川】</li> <li>上記②に加えて平場(天端または水際)【白川】</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>上記に加えて,</li> <li>斜面(1:5~1:10勾配):</li> <li>・<b>拠点の利用</b>(座る, 寝転がる, 休む)</li> <li>・<b>線的使用</b>(歩いて上り下りする)</li> <li>平場(1:10勾配より緩い):</li> <li>・<b>線的使用, 拠点の利用</b>(レクリエーション, イベント等)</li> <li>・<b>河岸空間を全体的に利用</b>(複合的活動)</li> </ul>
10 < W/D	<ul style="list-style-type: none"> <li>上記に加えて,</li> <li>・平場や緩傾斜斜面, 散策路(高水敷)</li> <li>【茂漁川・横手川・子吉川・阿武隈川・糸貫川・太田川】</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>上記に加えて,</li> <li>・<b>線的使用</b>(自由な動線での移動, 散策)</li> <li>・<b>拠点の利用</b>(ピクニック, 野草摘み, スポーツ等)</li> </ul>

標については30年度に検討を行う予定である。



### 3. 河川水辺の国勢調査データを用いた保全優先地区の抽出技術に関する研究 (植物・植生)

植物群落を希少性、典型性、特殊性、外来性の観点から評価した研究 (前中期プロジェクト研究) では、千曲川では沈水植物群落および抽水植物群落、揖斐川では沈水植物群落がそれぞれ保全優先度の高い群落として抽出された<sup>13, 14)</sup>。これらはいずれも氾濫原に特有の植物群落であるが、近年の河床低下にともなう冠水頻度の低下などにより、近年、急激に縮小している種群である。

28年度は、これらの植物群落が持続的に成立する箇所を保全優先地区 (ホットスポット) とし、群落の分布を決定する環境条件について、土砂堆積などの地形変化や成立後の年数に着目して明らかにした。以下に、千曲川の抽水植物群落と、揖斐川の沈水植物群落を対象として保全優先地区を抽出した事例を示す。

#### 3.1 抽水植物群落を対象とした保全優先地区の抽出 (千曲川での事例)

##### 3.1.1 調査地

千曲川の直轄管理区間 (KP52~108km) の約56kmを調査地とした (図-1)。河道内に、湿地や大小さまざまなワンド、たまりなどの氾濫原水域が形成されている。本調査地では、1981年頃より河道の局所的な洗掘が進行し、流路と高水敷の比高差が拡大していることが報告されている。地区を抽出した事例を示す。

##### 3.1.2 資料調査

河川水辺の国勢調査 (以下、「水辺の国調」という。) の1994年、1999年、2004年、2008年の植生面積データを用いて、ヨシ群落と沈水植物群落の分布の変遷を把握した。また群落ごとに1kmを1区間として区間単位で各群落パッチの面積を集計した。千曲川のヨシ群落については、1994年にヨシ群落として認識された各群落パッチが2008年に何の群落に遷移したかについて、水辺の国調の植生図を用いて把握した。

##### 3.1.3 統計解析

ヨシ群落からの遷移後の植生間で、地形変化 (堆積・侵食) を比較した。比較にあたっては、すべての変数の分布に正規性が確認されなかったため、ノンパラメトリックな分散分析法である Kruskal-wallis test と Steel dwass の全群比較を採用した。全群比較については、R version 3.0.2 を使用した。

##### 3.1.4 結果と考察

水辺の国調の植生調査結果から、調査地 (52-108km) のヨシ群落は、最近15年間で約230haから約7haへと大幅に減少したことが示された (図-1)。千曲川では、1998年

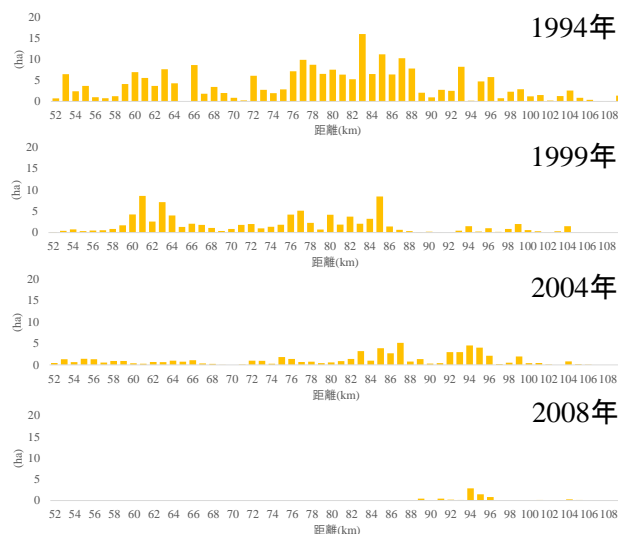


図-1 千曲川(KP52-108km)におけるヨシ群落の変遷

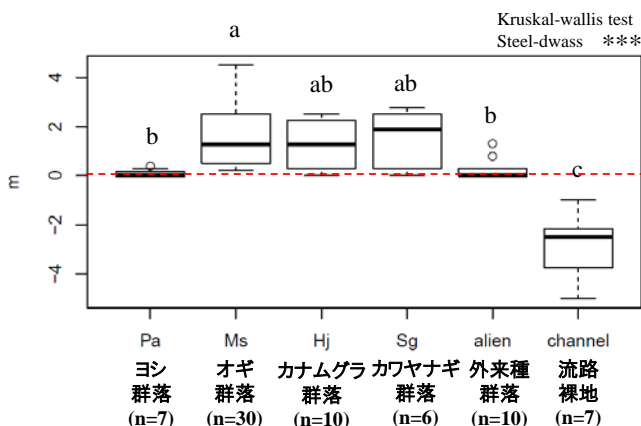


図-2 植生遷移後の地形変化

(ヨシ群落からの遷移, 1994年→2008年)

8月と1999年8月に2000 m<sup>3</sup>/sを超える大きな洪水が発生し、調査範囲内の植生の大部分が流失したことが報告されている<sup>15)</sup>。このため、1994年から1999年にかけてのヨシ群落の大幅な減少は、これらの大洪水によって引き起こされたと考えられる。ヨシ群落が消滅した箇所は、その後、流路や裸地へと変化していたほか、オギ群落やカナムグラ群落などの他群落や、ハリエンジュなどの外来種群落へと遷移した (図-2)。ヨシ群落が維持された箇所は、全パッチのわずか10%程度であった。

ヨシ群落が流路や裸地へと変化したところでは、侵食により2.5m程度 (中央値) の地盤の低下が起こった (図-2)。一方、他の植物群落へと遷移したところでは、外来種群落を除きいずれも土砂が堆積した。ヨシ群落からの遷移の頻度が最も高かったのはオギ群落であり、全体の30%近くを占めた。ここでは、1994年から2008年の14年間で、

1.3m 程度（中央値）の土砂の堆積がみられた（図-2、図-3）。オギは砂礫による埋没を受けても、幹の節から新しい根やシュートを出すことですばやく群落を回復させる<sup>16)</sup>。また千曲川において、植生と表層細粒土層厚との関係を調べた既往研究によれば、オギ群落の成立条件として、厚く堆積した表層細粒土層の存在をあげている<sup>15)</sup>。各群落の構成種を示した群落組成表から、ヨシ群落内には、もともと多くの箇所でおギが生育していたことが示されている。このため1998年から1999年の大洪水によってヨシ群落が出たのち、高水敷上に土砂が堆積したところでは、土砂による埋没に耐性を持ち、地下茎によって拡大するオギが優占し、洪水前のヨシ群落からオギ群落への遷移が起こったと考えられる。

これに対し、ヨシ群落が維持されたところでは顕著な地形変化は起こらなかった（図-2、図-3）。ここでは、地下茎を発達させながら、土砂が厚く堆積した条件のもとで広がるオギが拡大できず、もともと高い被度で生育していたヨシが再生できたものと考えられる。

ヨシ群落は、日本の氾濫原湿地にみられる代表的な植物群落のひとつである。しかしヨシ群落では、近年、河川改修などの開発や、侵略的外来植物の侵入などによる消失や

変質が進行していることが報告されている<sup>17)</sup>。千曲川のヨシ群落内では、最近になって外来種の割合が増えてきており、とくに2004年以降、特定外来生物のアレチウリもみられるようになった。これはアレチウリが千曲川で急増し始めた時期と一致している。また2004年以降、ヨシ群落がハリエンジュ群落をはじめとする外来種群落へと遷移した。ハリエンジュは河川の増水によって植物体の一部や種子が運ばれ、これらが漂着したところでいち早く発芽し、空間を占有することで拡大する<sup>18)</sup>。ヨシ群落がハリエンジュ群落へと遷移したところでは、ヨシ群落が維持されたところと同様、顕著な地形変化はみられなかった（図-2）。ハリエンジュの種子は、洪水時に高水敷上の広範囲に分散し定着することが知られている<sup>18)</sup>。種子定着後、短期間に土砂が厚く堆積したところでは、発芽したハリエンジュの実生は埋没によって枯死すると考えられるため、土砂が堆積しなかったところで群落が成立したのであろう。

以上のように、全国的な傾向と同様、千曲川でもヨシ群落の大幅な縮小と、オギやハリエンジュなど他群落への遷移が確認され、この要因のひとつに土砂の堆積が影響している可能性が示唆された。一方、ヨシ群落が持続的に成立したところでは、地形変化はおこっておらず、現在、ヨシ

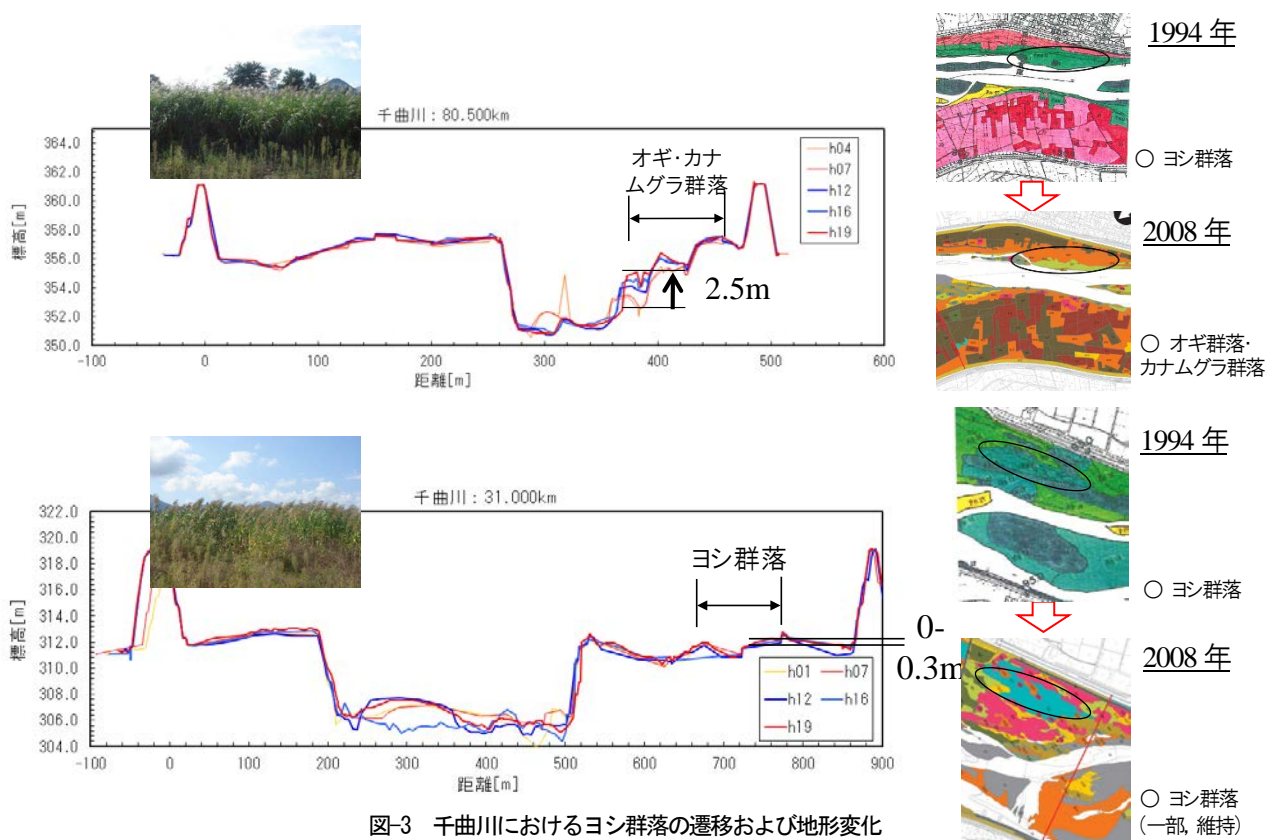


図-3 千曲川におけるヨシ群落の遷移および地形変化

(水辺の国調の植生図および定期横断測量図を使用)

上：KP80.5km(オギ群落、カナムグラ群落に遷移)、下：KP31.0km(ヨシ群落が一部維持)

群落のみられる箇所のうち、地形変化がおこっていない箇所では、今後もヨシ群落を持続的に成立する可能性があり、これらを保全優先地区として抽出した。

### 3.2 沈水植物群落を対象とした保全優先地区の抽出(揖斐川における事例)

#### 3.2.1 調査地

揖斐川では、後背湿地が形成され自然堤防が発達する河口からの距離 31~50km の区間を調査地とした。調査地の河道内には大小さまざまなワンドやたまりが形成されている。このうち 32~39km では、2000 年から 2007 年にかけて河積拡大のための高水敷掘削が実施されている。

#### 3.2.2 資料調査

水辺の国調(揖斐川)の 1997 年、2002 年、2007 年、2012 年の植生面積データを用いて、沈水植物群落の分布位置を把握した。また群落ごとに 1km を 1 区間として区間単位で群落パッチの面積を集計した。沈水植物群落は、角野(1994)に掲載される沈水植物が優占する群落とした。

#### 3.2.3 現地調査

2014 年の航空写真を判読し、長さ 20m 以上のワンド、たまりを抽出した。抽出されたワンド・たまりのうち、河川の縦断方向に 200m 間隔で取得された定期横断測量ラインが水域を跨ぐものを調査対象とした。その結果、19 箇所のたまり、7 箇所のワンドが調査対象となった。ワンド、たまりの区別として、1977 年、1981 年、1987 年、1993 年、2002 年、2006 年、2014 年の航空写真から本川と常時接続していると判断されたものをワンド、それ以外をたまりとした。

調査対象とした 26 箇所の調査方形区では、すべての高等植物の被度(%)を 5%刻みで記録した。同じ調査方形区内で水深、泥厚、水温、透視度、流速、pH、電気伝導度(以下、EC)、溶存酸素量(以下、DO)、全窒素(以下、T-N)、全リン(以下、T-P)を計測した。

上記に加え、1977 年、1981 年、1987 年、1993 年、2002 年、2006 年、2014 年の航空写真を用いて、26 箇所のワンド、たまりの成立年代を把握した。また 26 箇所の地形変化(堆積・浸食)状況について、各ワンド、たまりを横断する定期横断測量ラインのうち、2011 年と 2002 年のデータを用いて最近 9 年間の最深部の標高値の差を算出した。

#### 3.2.4 統計解析

26 の調査方形区で得た植生データ(すべての植物の被度)をもちいて氾濫原水域の植生分類をおこなった。植生の分類に用いたプログラムは TWINSpan(Two-way Indicator Species analysis)である。分類された植生タイプ間

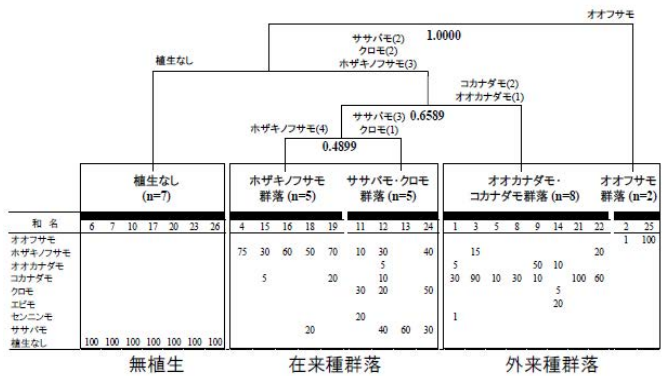


図-4 TWINSpan による沈水植物群落の区分 (デンドログラム中の数字は固有値、種名は指標種を示す)

で、13 の環境因子(水深、泥厚、水温、透視度、流速、pH、電気伝導度(EC)、溶存酸素量(DO)、全窒素(T-N)、全リン(T-P)、地形の変化(堆積/侵食)、ワンド・たまり成立後の年数、高等植物の種数を比較した。次に植生のある調査区を対象に、ワンド・たまり(在来種優占/外来種優占)間で、これらの 13 因子と在来種の割合、外来種の割合を比較した。比較にあたっては、すべての変数の分布に正規性が確認されなかったため、ノンパラメトリックな分散分析法である Kruskal-wallis test と Steel dwass の全群比較を採用した。

#### 3.2.5 結果と考察

##### ①沈水植物群落の分布状況の変遷

河川水辺の国勢調査の調査結果から、在来の沈水植物群落は 5~10 年間という極めて短期間のうちに、ジャヤナギアアカメヤナギ群落やオオフサモ群落などの他群落へと遷移するか、開放水面(無植生)へと変化したことを示した。放棄されたため池では 10~20 年間で植生が消滅するか他の群落へと遷移したことが報告されているため、河川の氾濫原水域における沈水植物群落の遷移は、近年の放棄されたため池を上回る速度で進行している可能性がある。

##### ②沈水植物群落の成立条件

TWINSpan により、揖斐川の氾濫原水域に成立する沈水植物群落は、種組成データから 5 つの群落に分類された(図-4)。

無植生、在来種群落、外来種群落の 3 つの植生タイプ間で、13 の環境因子を比較した結果、植生のない氾濫原水域は、成立後の年数が古く、地形が堆積傾向にあることが示された(図-5)。2002 年から 2011 年にかけての地形変化をみると、無植生の調査地では堆積が確認され、逆に侵食がみられた在来種群落および外来種群落と有意に異なった(図-5)。定期横断測量の結果から、無植生の水域では、最近 9 年間で 50cm、年平均では 5.5cm 程度の堆積(中央値)が起こった(図-5)。

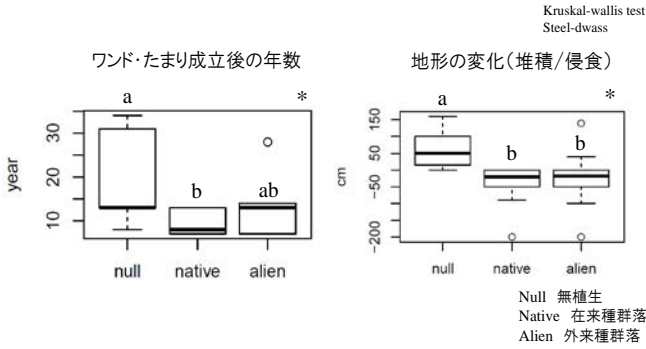


図-5 植生タイプ間の環境条件の比較 (有意な項目のみ表示)

これは揖斐川高水敷の掘削箇所において掘削後の土砂堆積速度を推定した値である年間 5~12cm<sup>19)</sup>に当てはまる。この数値を濃尾平野北部における原生的な氾濫原の後背湿地堆積物の堆積速度とされている年間0.12-0.2cm<sup>20)</sup>と比較すると、27.5~45倍程度となり極めて大きいことがわかる。このように短期間で集中的に起こる土砂供給によって埋土種子や植物体が埋没し、種子の発芽阻害や植物体の枯死が起こった可能性がある。

本研究では、各水域の洪水攪乱の程度は把握しなかったが、本川と常時接続するワンドは、流速が速く透視度が高いといった物理的条件によって特徴づけられていた(図-6)。これは本川との接続頻度が高いために、本川の環境が反映されたものであるといえる。また現地調査時、揖斐川ではオオカナダモなど大量の外来種の切れ藻が本川の流路内を流下していた。とくに本川と常時接続しているワンドでは、こうした切れ藻が供給される機会が多く、発生した不定根により水底に定着する<sup>21)</sup>ことで短期間のうちに外来種群落が発達したと考えられる。一方、本川から切り離され孤立したたまりでは、年数の経過とともに、易分解性有機物の堆積による嫌気過程の進行<sup>22)</sup>が起こっていると考えられる。外来種が優占するたまりは、低DO、高泥厚、高ECによって特徴づけられており(図-6)、外来種群落は、ワンドだけでなく、孤立し嫌気的な環境となったたまりにも適応した植物群落であるといえる。

ササバモ、ホザキノフサモなどの在来種群落は、たまりのみに成立したが、これらは、泥厚とECが低いことで特徴づけられた。原田ほか<sup>19)</sup>は、揖斐川のたまりのなかに湧水に依存しているものがあることを指摘している。たまりの在来種群落は、伏流した流路の水や湧水の流入による小規模な攪乱を受けることで維持されている群落かもしれない。しかしこうしたたまりも、易分解性有機物の堆積による嫌気過程が進行することで、外来種群落へと遷移していくことが想定される(図-7)。

③保全優先地区 (ホットスポット) の抽出

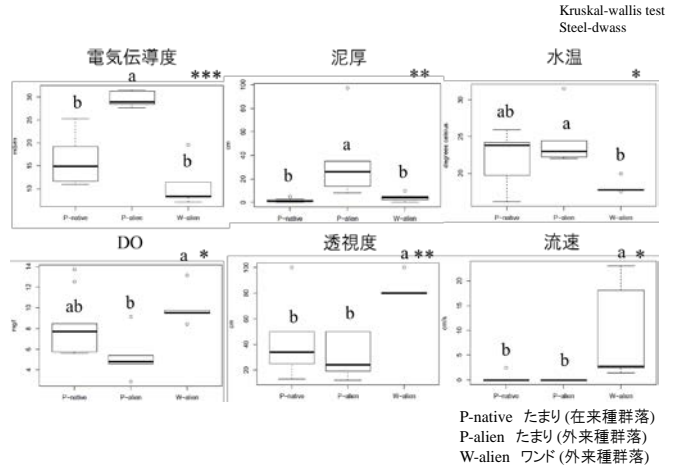


図-6 ワンドとたまりにおける環境条件の比較 (ワンドには外来種群落のみが成立)

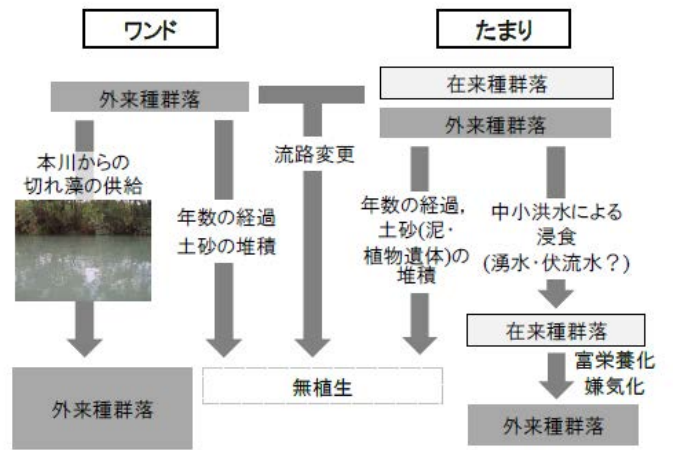


図-7 揖斐川の氾濫原水域における沈水植物群落の変遷 (模式図)

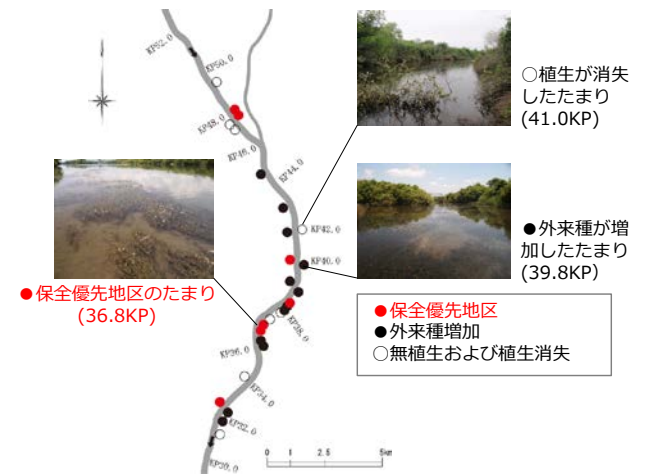


図-8 揖斐川におけるワンド・たまりの分布と保全優先地区

在来の沈水植物群落は、成立後の年数が新しく土砂が堆積せず、湧水が流入するたまりにおいて経年的に成立していた。全26のワンド、たまりのうち7つがこれらに該当

し、これらを保全優先地区として抽出した(図-8)。このように、保全対象群落と地形・環境条件との対応関係を解析することで、保全対象群落の成立条件を把握し、保全優先地区(ホットスポット)が抽出可能であることが確認された。

#### 4. 鳥類を対象とした保全優先地区の抽出

河川環境は多種の鳥類種の生息場所となっており<sup>23)</sup>、鳥類群集の多様性保全の場として重要な役割を果たしている。しかし、近年の河川環境の改変によって、鳥類の生息域が限定され、多種の鳥類が激減の一途を辿っている。これに加えて、国内では河川域において鳥類群集を対象とした保全生態学的研究例が少なく、具体的な鳥類のホットスポット等は明らかにされていない。そこで、本研究では、既存の河川水辺の国勢調査における鳥類データを用い、河川の上流域から下流域までの植生や水域等の環境とそこに出現する鳥類との関係性を明らかにするため、解析を試みた。

##### 4.1 保全優先地区の抽出方法の検討

###### 4.1.1 利根川水系鬼怒川を事例とした検討

今回、対象河川として、利根川水系鬼怒川を選んだ。2007年春期から2008年冬期にかけて実施された河川水辺の国勢調査(以下、水国)における6km地点から101km地点までの鳥類スポットセンサスデータから、各地点の出現種数を抽出した。なお、この調査では、鳥類の春渡り期、繁殖期、秋渡り期、および越冬期の計4期に分けて調査が実施されていた。今回は繁殖期と越冬期を対象に解析を行った。また、右岸と左岸ごとにセンサスデータが存在したが、河川環境基図データでは、片岸ごとのデータが存在しないため、右岸と左岸のスポットセンサスデータを合計した結果、96地点の鳥類スポットセンサスデータにまとめられた。環境条件については、鳥類調査の各ポイントから上下流合わせて2kmの範囲内にある植生および水域タイプを河川環境基図データから抽出し、それらの面積を求めた。イメージを図-9に示す。河川環境基図データには、2006年の秋期に行われた調査データを利用した。各植生群落名に対応する全28の植生基本分類(河川水辺の国勢調査の「植物群落一覧表」参照)の面積と水域等の面積(ha)を集計し、①ヤナギ・広葉樹、②針葉樹・竹林、③湿生草地、④乾生草地、⑤水田、⑥畑地、⑦ワンド、⑧たまり、⑨自然裸地の計9つの環境変数に便宜的に分類した。これらのデータを利用し、調査時期ごとの鳥類種数、水鳥種数(カイツブリ目、ペリカン目、ツル目、カモ目、チドリ目)、

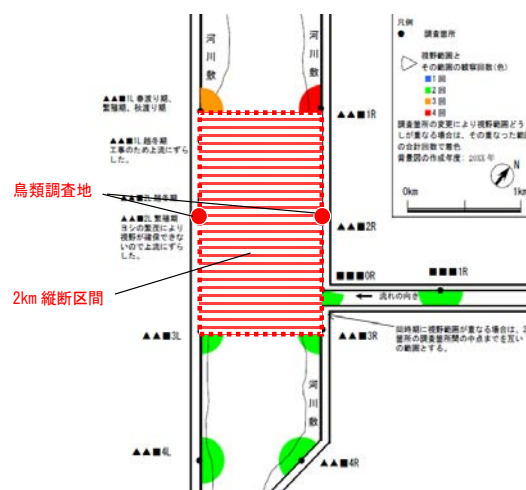


図-9 鳥類調査地と本資料で対象とする「2km 縦断区間」のイメージ

および砂礫性鳥類であり、近年減少傾向が指摘されているコアジサシおよびイカルチドリ<sup>24)</sup>の在・不在を目的変数、環境変数を説明変数に設定した。これらについて、条件付き推測樹木およびランダムフォレスト法<sup>25)</sup>による解析を実施した。条件付き推測樹木法には、説明変数と目的変数との関係性を視覚的に理解しやすいといった強みがあり、また、ランダムフォレスト法では、相対変数重要度が算出されるため、どの環境要因が鳥類の種数や在不在に影響しているかを理解しやすい。これらの2つの解析は、異なるプロセスに基づいて行われるため、2つの解析結果を照らし合わせることで、より重要な環境要因の抽出が可能となる。これらの解析方法は保全生態学における既往研究でもしばしば用いられている。<sup>26),27)</sup>

条件付き推測樹木法については、モンテカルロ法によるシミュレーションを9,999回実施し、目的変数に合わせて分岐ふしの最小個数を10または15に設定した。ランダムフォレスト法については、10,000本のCART樹木を構成し、解析した。これらの解析には、R version 3.4.3のpartyパッケージおよびrandomForestパッケージを用いた。

###### 4.1.2 鬼怒川の鳥類群集と環境との関係

繁殖期の調査では、計63種、越冬期の調査では計88種の鳥類が記録され、冬期に河川域を利用する種が増加していた(図-10)。

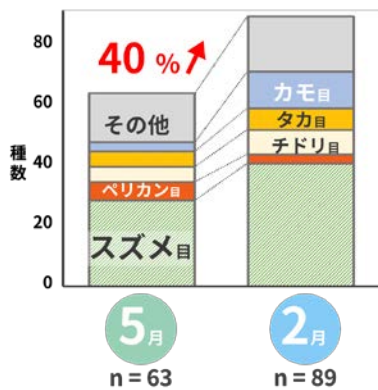


図-10 鬼怒川の繁殖期（5月）と越冬期（2月）における鳥類種数の比較

また、水鳥の出現種を季節ごとに比較すると、繁殖期に19種であったのが越冬期には26種に増加していた。これに加えて、繁殖期と越冬期でカモ目、チドリ目などの水鳥の構成種も大きく変わっていた（表1）。

表-1 鬼怒川の繁殖期（5月）と越冬期（2月）における水鳥の出現種一覧 黒丸が出現したことを示す。

水鳥	5月	2月	水鳥	5月	2月
カイツブリ	●	●	クイナ	●	●
カワウ	●	●	バン	●	●
ゴイサギ	●	●	オオバン	●	●
アマサギ	●	●	コチドリ	●	●
ダイサギ	●	●	イカルチドリ	●	●
チュウサギ	●	●	シロチドリ	●	●
コサギ	●	●	タゲリ	●	●
アオサギ	●	●	ハマシギ	●	●
コハクチョウ	●	●	クサシギ	●	●
マガモ	●	●	イソシギ	●	●
カルガモ	●	●	タシギ	●	●
コガモ	●	●	アオシギ	●	●
ヨシガモ	●	●	コアジサシ	●	●
オカヨシガモ	●	●			
ヒドリガモ	●	●			
オナガガモ	●	●			
ハシビロガモ	●	●			
ホオジロガモ	●	●			
ミコアイサ	●	●			
カワアイサ	●	●			

繁殖期の鳥類種全体について、条件付き推測樹木分析では、湿生草地の面積が第1変数として選択された。ある一定以上の湿生草地が多いスポットには有意に鳥類種数が高くなっていた。また、ランダムフォレスト法の結果では、湿生草地の重要度が正の方向に高かった。他に、自然裸地や乾生草地の面積の重要度も高く、これらの変数も同様に正の方向に高かった。その一方で、越冬期については、たまりの面積がある程度小さく、水田や湿生草地がある程度多い環境が推測樹木で選択された。ランダムフォレストでは、湿生草地や畑地、水田の重要度が正の方向に高く、ヤナギ・広葉樹や針葉樹・竹林の重要度が負の方向に高かった。

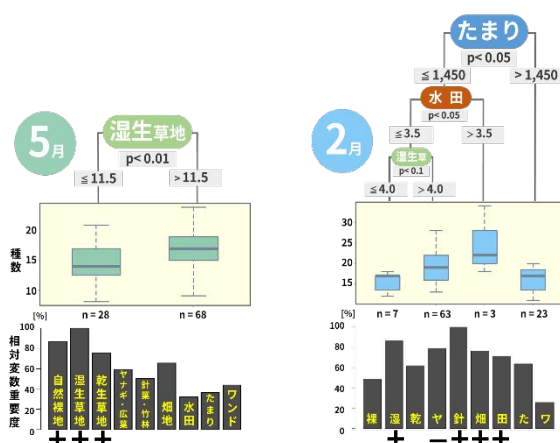


図-11 鬼怒川の繁殖期（5月）と越冬期（2月）における鳥類種数と環境との関係 上部のボックスプロットが条件付き推測樹木の結果を、下部の棒グラフがランダムフォレストの相対変数重要度を示す。相対変数重要度が70%以上の場合のみ、正負を示した。

初夏期の水鳥について、推測樹木では、ある一定以上の面積の乾生草地が第1変数として選択され、有意に種数が多かった。ランダムフォレストでは、湿生草地と乾生草地の重要度が正の方向に高かった。その一方で、越冬期について、推測樹木では有意差がないものの、ヤナギ・広葉樹がある一定面積よりも少ない場合に種数が多い傾向があった。ランダムフォレストでは、ヤナギ・広葉樹や針葉樹・竹林の重要度が負の方向に高かった。

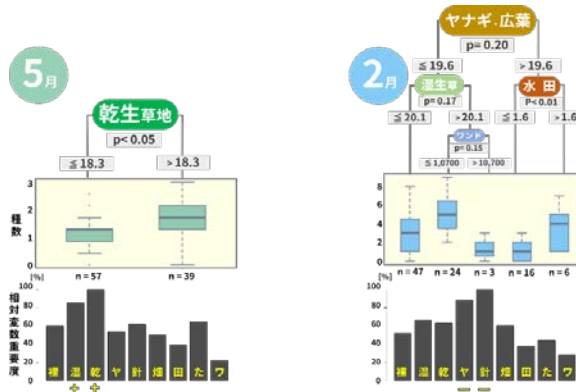


図-12 鬼怒川の繁殖期（5月）と越冬期（2月）における水鳥種数と環境との関係 上部のボックスプロットが条件付き推測樹木の結果を、下部の棒グラフがランダムフォレストの相対変数重要度を示す。相対変数重要度が70%以上の場合のみ、正負を示した。

繁殖期のコアジサシの在・不在について、推測樹木ではある一定面積以上の湿生草地が第一変数に選択された。ランダムフォレストでも、湿生草地の重要度が正の方向に非常に高かった。繁殖期のイカルチドリの在不在について、推測樹木では、ある面積以上の乾生草地や自然裸地がある環境が選択され、有意に出現頻度が高くなる結果となった。また、ランダムフォレストでは、自然裸地の変数重要度が

他の要因に比べて顕著に正の方向に高かった。

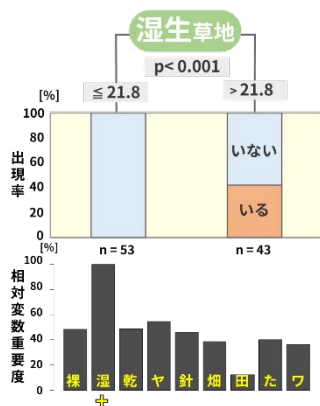


図-13 鬼怒川の繁殖期（5月）におけるコアジサシの存在と環境との関係 上部のボックスプロットが条件付き推測樹木の結果を、下部の棒グラフがランダムフォレストの相対変数重要度を示す。相対変数重要度が70%以上の場合のみ、正負を示した。

#### 4.1.3 鬼怒川の結果からみた鳥類のホットスポット

鬼怒川では、繁殖期と越冬期とで鳥類の種数や組成が大きく異なっていた。また、環境についても、季節ごとに重要な変数が異なっていた。この結果は、鳥類の保全優先地区を精査する際に、季節性を加味し、一年を通した保全地区の検討が必要であることを示唆するものである。

条件付き推測樹木やランダムフォレストの結果では、湿生草地や乾生草地、そして自然裸地が鳥類全体や水鳥の種数に正の効果を与える場合が多かった。多種の水鳥は魚類や甲殻類などの多い水辺を餌場とし、造巣場所としても草地を利用する<sup>28)</sup>。さらに初夏期のオギ・ヨシ帯や乾生草地は外敵からの隠れ家としても機能することから、これらの多い場所に水鳥などの鳥類が集まっていたものと推察される。鳥類、特に水鳥のホットスポットを明らかにする場合には、乾生・湿生草地と自然裸地が手掛かりとなる可能性が高い。

また、コアジサシやイカルチドリといった砂礫性鳥類は、繁殖期に砂礫帯に産卵するため、自然裸地の存在が重要となる。イカルチドリでは自然裸地が重要な変数となっていたものの、コアジサシでは、そのような傾向がみられなかった。コアジサシは、植被率がある一定以上になるとそこを営巣場所として利用しない<sup>29)</sup>。このことに関して、今回、河道内2kmの環境と200mの鳥類スポットセンサスを実施したため、厳密な環境要因との結びつけが出来ていない可能性がある。そのため、砂礫性鳥類については、特に繁殖期において、スポットセンサス結果と生息場所の空間スケールを一致させるような解析が重要と考えられる。

このように、鬼怒川におけるオギ・ヨシ群落は多種の分類群の鳥類にとって、繁殖期と越冬期共に重要な生息環境

となっている可能性が高いが、保全エリアの選定については、定量的な野外調査や他の水系との比較などを実施しながら慎重に検討すべきだろう。

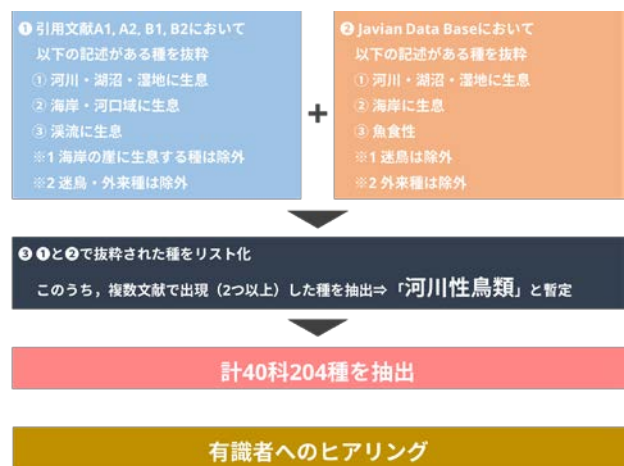
#### 4.2 河川性鳥類の選定

4.1では、目的変数として鳥類全体や便宜的に抜粋した水鳥類を扱った。しかしながら、河川域は河川の水辺を利用する陸鳥にとっても重要な環境となっているため、「河川性鳥類」の定義付けを十分に検討する必要がある。表-3は水辺の鳥類を対象とした既存の研究であるが、それぞれの研究によって水辺の鳥類の定義が大きく異なっている。

表-3 既存研究における水辺の鳥に含まれる分類群の一覧

	Maeda (2001)	相澤ほか(2012)	舟久保ほか(1995)	平野・樋口(1988)	小出ほか(2004)
カイツブリ科		●	●	●	●
ウ科		●	●	●	●
サギ科	●	●	●	●	●
カモ科	●	●	●	●	●
クイナ科	●	●	●	●	●
チドリ科	●	●	●	●	●
シギ科	●	●	●	●	●
カモメ科		●	●	●	●
カワセミ科	●	●	●	●	●
セキレイ科			●	●	●
カワガラス科				●	

既存の研究例を踏まえ、河川性鳥類を選定するために、現在、いくつかの図鑑およびデータベースを参考として、図-14に示したフローを検討している。



#### <参考文献>

- A1: 高木清和 (2002) フィールドのための野帳図鑑水辺の鳥
- A2: 高木清和 (2002) フィールドのための野帳図鑑山の鳥
- B1: 中村登流・中村雅彦 (1995) 原色日本野鳥生態図鑑水鳥編
- B2: 中村登流・中村雅彦 (1995) 原色日本野鳥生態図鑑陸鳥編

JAVIAN Database  
(日本に生息する鳥類の生活史・生態・形態的特性に関するデータベース)

図-14 河川性鳥類の選定基準のフロー図

#### 5. まとめ

景観、人の利用からみた重点区間の抽出技術に関しては、

「景観保全区間」、「景観形成区間」を設定し、既存文献分析及び事例調査から、これらの区間(拠点)を抽出するための評価軸(案)を検討した。また、景観形成区間の整備に必要な空間スペースを評価する指標について検討を行った。今後、「整備により活用される可能性が高い場所」に係る評価指標について検討を行う予定である。

生物に関しては、沈水植物・抽水植物を対象に、保全すべき植物群落が持続的に成立する箇所を保全優先地区とし、これらの分布と成立条件を明らかにした。また、鳥類について、鬼怒川を対象として、鳥類種の分布と植生基本分類及び環境条件との関係性の解析を実施した。今後、保全優先度の高い動植物種が生息する群落や景観要素を抽出し、地形や水理量等の環境条件との対応関係を把握する。

### 参考文献

- 1) 生物多様性国家戦略2012-2020～豊かな自然共生社会の実現に向けたロードマップ～, 2012.9 閣議決定.
- 2) 社会資本整備審議会:安全を持続的に確保するための今後の河川管理のあり方について [答申], 2013.4.
- 3) 「河川景観の形成と保全の考え方」検討委員会編:河川景観デザイナー「河川景観の形成と保全の考え方」の解説と実践、財団法人リバーフロント整備センター、2008.
- 4) 島谷幸宏:河川風景デザイン、山海堂、1994.
- 5) 土木学会編:水辺の景観設計、技報堂出版、1988.
- 6) 環境省総合環境政策局環境影響評価課:環境影響評価技術ガイド 景観、2008.
- 7) 自然との触れあい分野の環境影響評価技術検討会編:環境アセスメント技術ガイド 自然とのふれあい、財団法人自然環境研究センター、2002.
- 8) 鶴田舞、片桐浩司、藤森琢、萱場祐一:中小河川における景観重点区間の選定条件に関する検討、土木学会第71回年次学術講演会概要集□、pp.97-98、2016.
- 9) Mai TSURUTA, Yuichi KAYABA: Study on Selection Criteria of Preferentially Section to Design of Landscape in the Urban River, The 15th International Landscape Architectural Symposium of Japan, China, and Korea in Tokyo, Japan 2016, 2016.
- 10) 鶴田舞、萱場祐一:河岸の横断面形状に着目した空間利用ポテンシャル評価指標の提案、河川技術論文集23、2017.
- 11) 北村信正:造園実務集成 公共造園篇1 計画と設計の実際、技報堂出版、1972.
- 12) 小柳武和:土木施設景観の計量心理的評価手法に関する研究、土木学会第31回年次学術講演会、第4部門、pp.98-99、1976.
- 13) 片桐浩司、池田茂、傳田正利、萱場祐一:河道内氾濫原における水生植物群落の劣化要因の解明とその再生にむけて、河川技術論文集22、2016.
- 14) 片桐浩司、池田茂、大石哲也、萱場祐一:揖斐川の氾濫原水域における沈水植物群落の分布と成立条件、応用生態工学19、pp.55-65、2016.
- 15) 末次忠司、藤田光一、服部敦、瀬崎智之、伊藤正彦、榎本真二:礫床河川に繁茂する植生の洪水攪乱に対する応答、遷移および群落拡大の特性—多摩川と千曲川の礫河原を対象として—、国土技術政策総合研究所資料161、2004.
- 16) 石川慎吾:河川植物の特性、「河川環境と水辺植物—植生の保全と管理」(奥田重俊・佐々木寧編)、pp.71-92、ソフトサイエンス社、東京、1996.
- 17) 小幡智子、石井潤、角谷拓、鷺谷いづみ:渡良瀬遊水地における過去の掘削履歴が絶滅危惧植物の現在の分布に及ぼす影響と影響評価地図、保全生態学研究17、pp.221-233、2012.
- 18) 外来種影響・対策研究会編:河川における外来種対策の考え方とその事例、リバーフロント整備センター、2008.
- 19) 原田守啓、永山滋也、大石哲也、萱場祐一:揖斐川高水敷掘削後の微地形形成過程、水工学論文集59、pp.1171-1176、2015.
- 20) 堀和明、田辺晋:濃尾平野北部の氾濫原の発達過程と輪中形成、第四紀研究51、93-102、2012.
- 21) 外来種影響対策委員会:河川における外来種対策の考え方とその事例、「改訂版—主な侵略的外来種の影響と対策—」、財団法人リバーフロント整備センター、東京、2008.
- 22) Ponnampetuma FN.: The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy* 24: 29-96, 1972.
- 23) 村上正志:鳥類、「河川生態学」(中村太士編)、pp.150-154、サイエンティフィック、東京、2013.
- 24) 東 陽一:コアジサシの営巣環境条件と集団繁殖地の保全策、ランドスケープ研究61、pp.541-544、1997.
- 25) 平井正志:三重県中部河川でのイカルチドリ繁殖、Strix17、pp.77-83、1999.
- 26) 下川敏雄、杉本知之、後藤昌司:樹木構造接近法、共立出版、東京、2013.
- 27) 加藤 和弘、一ノ瀬 友博、高橋 俊守:分類樹木を用いた生物生息場所の分類 河川水辺の鳥類を対象とした事例研究、応用生態工学5、pp.189-201、2003.
- 28) 望月 翔太、村上 拓彦:野生動物の保護管理における衛星リモートセンシング技術の適用、日本生態学会誌64、pp.253-264、2014.
- 29) 高川晋一、植田睦之、天野達也、岡久雄二、上沖正欣、高木憲太郎、高橋雅雄、葉山政治、平野敏明、三上修、森さやか、森本元、山浦悠一:日本に生息する鳥類の生活史・生態・形態的特性に関するデータベース「JAVIAN Database」、Bird Research7、9-12、2011.



## 11.2 河道掘削等の人為的改変に対する植生・魚類等の応答予測技術の開発

### 11.2.1 陸域における河道掘削を念頭においた河道内植生の管理技術に関する研究

担当チーム：水環境研究グループ（河川生態）

研究担当者：萱場祐一、傳田正利

#### 【要旨】

平成 28 年度は、河道掘削による砂礫河原再生、樹林化抑制を低コストで行うために、旧流路部を活用し洪水流を陸域へ導水する水路掘削と平面掘削の併用による砂礫河原再生を国道交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所と共同で検討した。その結果、洪水流の陸域への導流・越流に成功し、砂礫河原再生、樹林化抑制に成功した。また、掘削コストは 1/3 に圧縮することに成功した。同時に、近年、開発・普及が進む UAV の画像を、人工知能を用いて分析し、植物群落境界の自動検出・表層土壌材料の自動判読の可能性を確認した。

平成 29 年度は、UAV 画像と AI (Artificial Intelligence : AI) を用いた植生図の自動作成の可能性の検証、中小面積の植物群落動態（出現・消失）を再現できない PCC 植生動態モデルの改良、近年、建築・土木の三次元化・情報化で注目される CIM (Constriction Information Modeling/Management) の有用性を検討した。その結果、UAV 画像と AI を用いた植生図の自動作成の可能性の確認、PCC 植生動態モデルの中小面積の植物群落動態の再現の成功、CIM 技術の適用による河道内地形・植生動態の再現の可能性を確認した。

キーワード：河道掘削、樹林化抑制、砂礫河原再生、UAV (ドローン)、人工知能 (AI)、植物群落クラスタ (PCC)、植生動態モデル、CIM

#### 1. はじめに

近年、河川では草本や樹木群といった「安定植生域」が増加してきている。安定植生域の増加は、外来種の侵入・拡大、生物多様性の劣化、流下能力の低下、維持管理費の増大等、様々な問題を招いている。土木研究所の既往研究において、安定植生域増加の要因となる樹種の行き過ぎた生育を抑制する工法の開発に成功したが、樹林化後の対応法を提案した側面が強い。戦略的な河道管理を行うためには、安定植生域が生じない河道管理が必要となる。

河道管理の研究・実務においては、「河道掘削」は、洪水攪乱を促し、氾濫原的環境の創出を通し環境復元すること、安定植生域への遷移<sup>2)3)</sup>を遅らせることが報告されている。今後は、これらの知見を活用し、「河道掘削」が持つ環境復元、安定植生域抑制の機能に着目し、治水・環境の二つの目的を適切なコストで両立させる河川管理技術が求められる。上記の目的達成には、河川の物理環境と植生遷移の因果関係の解明、これらの因果関係に基づく植生動態の将来予測を行う技術が必要となるが、その開発は遅れている。

この様な背景から本研究では、達成目標 1 : 「植生域の

拡大に着目した遷移プロセスの解明」、達成目標 2 : 「植物群落の遷移・更新を考慮した植生動態モデルの開発」を第一の目的としている。その後、達成目標 3 : 「治水・環境の視点から見た最適な河道掘削手法の提案」、達成目標 4 : 「治水・環境・維持管理の視点から見た最適な河道内植生の管理手法の提案」の流れで、達成目標を設定した。上述の検討を通して、治水・環境・維持管理の視点から見た最適な河道内植生の管理手法の提案することを最終目的としている。

平成 28 年度 (2016 年度) は、研究全体の流れを俯瞰する目的で、実際の河道掘削の事業計画・評価に参加し、各達成目標の主要部を部分的に実施した。具体的には、国土交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所と共に検討した信濃川水系千曲川冠着地区における旧流路部を活用した水路掘削と平面掘削の併用による砂礫河原再生事業による砂礫河原再生効果の検証と効果発生機構の報告を 2 章において行う。その後、土木研究所と民間 4 社 (国際航業 (株)、(株) 建設技術研究所、パシフィックコンサルタンツ (株)、(株) 国土開発センター) との共同研究において実施した植生動態の監視技術として、近年、技術革新と普

及が著しい無人航空機 (UAV : Unmanned Aerial Vehicle)、人工知能 (AI : Artificial Intelligence) を植生の初期侵入に大きな影響を与える表層土壌材料把握等に適用した。その可能性を検証する実験的試みを3章において報告する。4章において、植生動態に影響を与える気候帯、近年普及が進む i-Construction との関連性を含めて平成 29 年度 (2017 年度) 以降への研究展開を整理する。

## 2. 信濃川水系千曲川冠着地区における旧流路部を活用した水路掘削と平面掘削の併用による砂礫河原再生事業による砂礫河原再生効果の検証と効果発生機構の考察

### 2.1 旧流路部を活用した水路掘削と平面掘削の併用による砂礫河原再生事業の概要

図-1 に冠着地区 (直轄区間 85~86 km、以下、「調査地」と記述する。) の概要を示す。調査地は、河床勾配 1/220、平均代表粒径 53mm のセグメント 1 である。調査地は、下流部と上流部で異なる状態であった。

調査地の下流部 (以下、「下流部」と記述する。) は、みお筋部の河床低下で冠水頻度が減少して樹林化していた。

一方、調査地の上流部 (以下、「上流部」と記述する。) は砂礫河原が残存しているが、10 年に 1 度程度の洪水規模である 2013 年洪水でも無次元掃流力評価が 0.06 以下<sup>2)</sup>と砂礫が動きづらく、今後、砂礫河原が消失するおそれがあった。2016 年 3 月には、上流部・下流部に対して砂礫河原再生の工事が実施された。

### 2.2 調査地における旧流路部を活用した水路掘削と平面掘削の併用の考え方

#### 2.2.1 水路掘削採用の経緯

調査地における砂礫河原再生の当初計画は、図-1 に示したとおり下流部・上流部の平面的切り下げを検討したが、掘削量が 12.6 万 m<sup>3</sup> であった (図-1:当初範囲)。

そのため、下流部は「全体的な砂州の切り下げによる消失した砂礫河原の再生」、上流部は、「水路掘削による既存砂礫河原の活性化」を検討した。

#### 2.2.2 上流部での水路掘削

図-2 にレーザープロファイラーを用いた掘削前の地盤高コンター図を示す。調査地は単列砂州で砂州上には旧流路跡が複数確認できる。水路掘削は、平水時の主流部に近接した 2 つの旧流路を掘削して行い (堤外地側、みお筋側)、旧流路への洪水流入に伴う攪乱を期待した。水路掘削の上流端位置 (以下、「呑み口」と記述する。) は、瀬 (砂州前縁線) の上流側に設定した。これは、中小洪水時には砂州前縁線による堰上げで水位が高くなり易く、掘削水路内へ洪水流を導流し易いと判断したことによる。

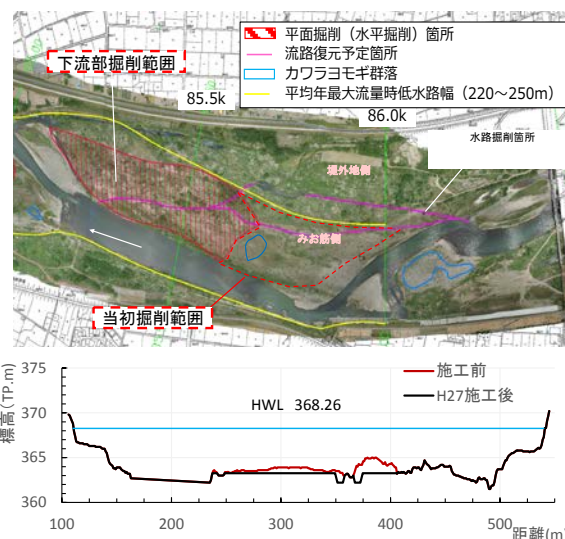


図-1 調査地の概要

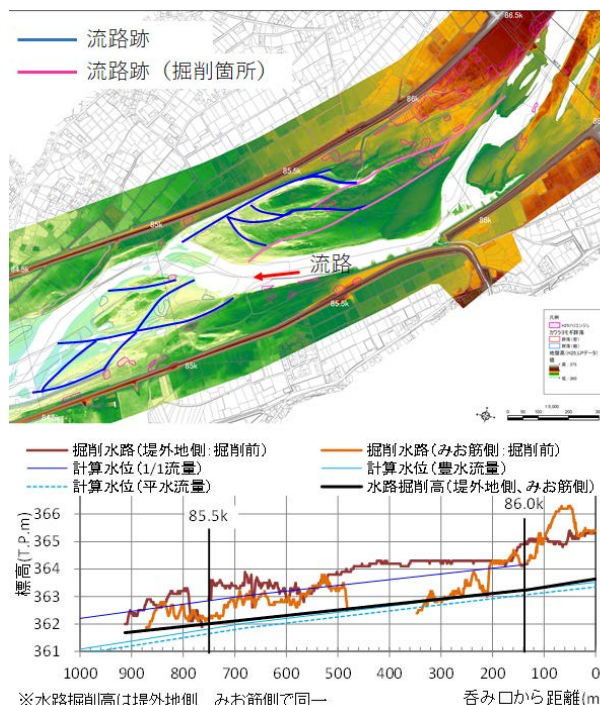


図-2 施工前の地盤高コンター図と水路縦断面図

図-3 に水路の掘削の縦断面図を示す。水路の掘削高は、水路内の砂礫が平均年最大流量以下の 1/1 の確率規模 (中小洪水) でも動ける掃流条件を基本とした。旧流路の一部は、たまりが存在するため、常時流入を防止するため豊水流量以下では流入しない高さとした。

#### 2.2.3 下流部での平面掘削

平面掘削範囲 (図-1:下流掘削範囲) は、同一のセグメントで良好な状態で現存する砂礫河原を参考に、現存の河原環境に依存するカワラヨモギ群落の保全に留意しつつ、過去に砂礫河原が存在した箇所を対象に、低水路幅 250m 程度

となる様に設定した。

掘削高は、千曲川における砂礫河原経年変化や河川生態学術研究会千曲川グループでの研究成果<sup>4)</sup>である「概ね10年に1度程度の洪水で砂礫河原に回復すること」、「千曲川に多く繁茂しているハリエンジュの群落範囲は年1回未満の冠水頻度の箇所であること」に基づき<sup>4)</sup>、設定した。具体には、年1回程度の洪水水位で掘削高を算定し、平面二次元流解析を用いて、砂礫の攪乱が期待できる無次元掃流力0.06以上であることを再確認して設定した。

**2.2.4 砂礫河原再生事業の効果と効果が発生させた物理環境特性の結果**

図-3は施工直後と洪水後の UAV による垂直写真による変化を示す。上流部における植生侵入箇所の砂礫への回復、拡幅したみお筋側水路では水路の外岸側・内岸側の拡大、下流部・上流部の接合部において扇状地出口部で見られる中州の形成が確認された。画像解析の結果、砂礫河原面積が約2.6倍の面積増加が確認できた。

コスト削減効果の検証に関しては、掘削量は、全領域を平面掘削した場合、約12.6万m<sup>3</sup>、本形状は3.9万m<sup>3</sup>であり、掘削量に起因するコストは1/3に削減できた。

**2.2.5 事業効果が生じた要因把握のための水理解析**

図-4に、2016年9月20日洪水ピーク流量時約1,400m<sup>3</sup>/sにおける摩擦速度コンター図と砂礫帯形成状況を示す。砂礫帯形成箇所の摩擦速度は概ね0.25m/s程度となっており、無次元掃流力が約0.06、粒径換算で50mm以下が動くと推定された。

図-5は、中間段階の流量規模である800m<sup>3</sup>/s時の流速コンターベクトル図を示す。砂州上の流れは水路に沿った流れを主体としながら、内岸側から落ち込むような流れが生じている。

図-6は、洪水ピーク時の流速コンターベクトル図であり、この規模では水路上の流れも直線的となり、水路内岸側は逆に水当たりのような状況となっている。

**2.2.6 砂礫河原再生事業の効果と効果が発生させた物理環境特性の考察**

本事業は、下流部においては砂礫河原の再生を、上流においては樹林化の抑制を、河川環境管理の目標に掲げ、同時に、コストの抑制も目標とした。

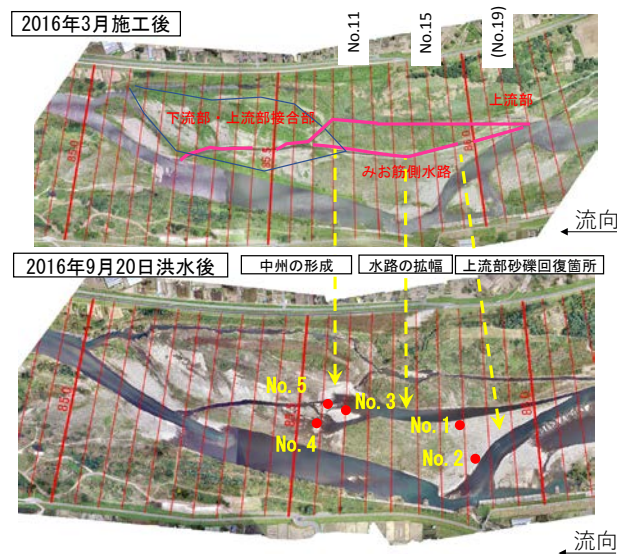


図-3 洪水前後での UAV による地形変化

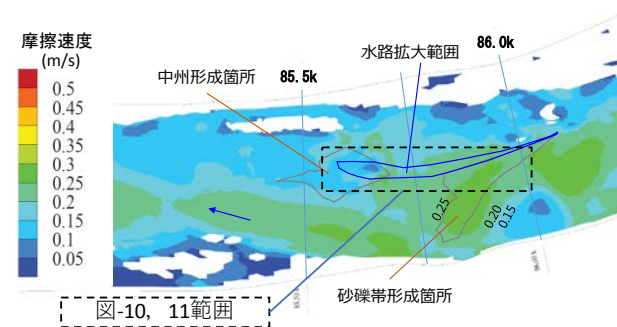


図-4 洪水前後での UAV による地形変化

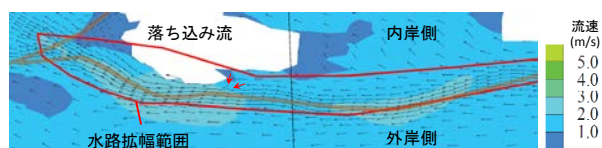


図-5 洪水前後での UAV による地形変化

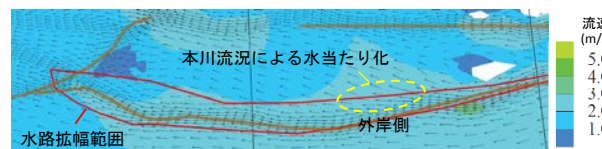


図-6 洪水前後での UAV による地形変化

検討の結果は、全ての目標を達成できていることを示している (図-3)。

砂礫河原再生に関しては、洪水による攪乱で砂礫河原面積が約2.6倍に増加し (図-3)、現地踏査や UAV 画像からも一定面積の砂礫河原の点在が確認できる (図-4)。

コスト削減効果に関しては、掘削土砂量が1/3になった

点は、人口縮小に伴うコスト削減が求められる昨今の河川管理には極めて大きな成果である。本事業では、掘削土砂量のみをコスト評価の対象としたが、掘削土砂の発生は、掘削土砂の受け入れ先の調整、仮置き場におけるオオブタクサ等の外来生物生育状況の監視、掘削土砂の運搬・処分費等のコスト増大等、河川管理者にとっての多くの費用と業務の負担を発生させる。これらの付随する費用・業務を含めれば、コスト削減効果は極めて高いと考えられる。

2.2.5における検討は、「陸域越流時の流況の多様性」の重要性を示す。事業計画時、筆者らは、水路掘削部を洪水が流下し、水路掘削部から砂州全体の土砂移動が生じると推定していた。

しかし、陸域における洪水流の冠水域が土砂移動を促していた(図-5、図-6)。水路掘削は、洪水時の流量増加に伴う冠水域の拡大を陸域へ呼び込むトリガー的役割を果たし、図-5の上流部右岸側のベクトルの2分化が、それを実証している。また、下流部への流下に伴い、主流部との位相差、氾濫水域内における比高差(相対水深)の均一化の調整が生じ、落ち込み流等が生じる。この落ち込み流が水路幅範囲の内岸側の拡大などを促したと考えられる。

平成28年度、千曲川河川事務所と共同で計画・評価した水路掘削と平面掘削の併用による河道掘削は、掘削土砂量の抑制を通じた事業費の削減を目的とする先進的な河道掘削であり、今後、全国で実施される可能性が高い。筆者らの調査では手取川水系手取川においても同様の水路掘削が行われており、流域土砂管理・コスト削減の両面から注目される掘削方法であり、今後も調査・研究を行う必要がある。

しかし、水路掘削は先進的な掘削方法であるが、水際から一定面積を掘削する平面掘削の方が多くの河川で実施されている。平成29年度は、平面掘削の計画・評価等に参加し、掘削事業の実務を経験する必要がある。また、平成28年度は、主にセグメント1～セグメント2の上流部を対象に検討した。しかし、河道掘削はセグメント2等の区間でも多く実施されている。そのため、平成29年度以降は、調査・研究の対象とするセグメントを主に下流側に拡大し研究を進める予定である。

### 3. UAV・AIを用いた植物群落境界・表層土壌材料把握の可能性の実験的検証

#### 3.1 はじめに

河道内植生を「管理」する場合、対象とする河川(区間)

の植物群落分布の全体を把握し、樹林化の進行と判断できる植物群落が一定以上繁茂しないような管理を行う必要がある。この目的のためには、空中写真等を用いて現在の植物群落の状態を監視する必要がある。従来の河川技術においては、航空機等を用いた空中写真等が活用されていたが、一回の撮影・測量解析が高額になる問題点があった。近年、普及が進むUAVは、比較的安価に空中写真の撮影が可能になるとともにSfM(Structure from Motion)を用いることにより、3次元地形測量等が容易に可能になる。

また、UAV等による多量な空間情報の高頻度の供給は、人力にのみ頼る調査・解析が近年限界に近づくことを暗示する。人工知能(AI: Artificial Intelligence)は、この問題を解決する可能性が高くAIの多様な分野への適用が期待されている。画像解析は、AIが比較的する研究分野である。

そのため、本章においてはUAV画像を対象にAIを適用する試行を行い、河道内植生管理への応用の可能性を検証する。

#### 3.2 オブジェクトベース分類の概要と画像分類方法の概要

地被状態の把握を行うため、UAVを用いて2016年7月25日に撮影した低高度空中写真を用いた画像解析を行った。画像解析は、オブジェクトベース分類手法を用いた。オブジェクトベース分類手法は、セグメンテーションと呼ばれる処理により、スペクトル情報(RGB値、輝度等)や形状情報に基づいたオブジェクト(ピクセルの集合)を生成し、画像を分類する技術である<sup>3)</sup>。

#### 3.3 オブジェクトベース分類を用いた河道内植生境界・表層土壌境界の自動判読の結果

図-7にオブジェクトベース分類手法の画像解析結果を示す。オブジェクトベース分類手法は、植物群落境界を明瞭に検出した。オブジェクトベース分類手法で求められた輝度は、植物の生育密度に対応した。植物群落境界だけでなく、砂礫帯の砂礫混合度、砂礫の湿潤状況等の境界線

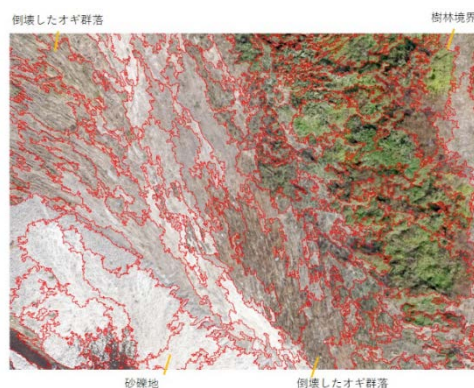


図-7 オブジェクトベース分類を用いた地被分類図

も目視判読と同様で認識し、境界は人力よりも多く抽出した。

### 3.4 UAV・AIが河道内植生管理に持つ可能性

平成28年度(2016年度)、UAVの高解像度の低高度空中写真に画像解析を試行的に適用した結果、植物の生育状況、表層土壌材料の分布域の境界を自動的に検出できる可能性を確認出来た。表層土壌材料の空間的分布状況の把握は、植生の初期侵入に大きな影響を与えるため、重要な情報となる。河道内植生の生育境界を検出することは、河道内植生の現状を把握するのに重要な情報であり、樹林化の進展をいち早く検知できる技術への発展の可能性を示している。

また、UAV・AIを用いた河道内植生の監視技術は、河道内植生管理(河川環境管理)が抱える重要な問題の技術的解決の糸口を示している。

図-8に、河川水辺の国勢調査とUAV・AIの植生動態監視の併用による植生管理方法の案を示す。現在、河川水辺の国勢調査の植物群落調査は、5年に1回行われ、また、環境調査予算の制約から、より頻度が低くなることが予定されている。

河川水辺の国勢調査のみにデータソースを依存する場合、図-8に示す「樹林化へ不可逆的遷移過程の見逃し」の危険性があると考えられる。河道内植生遷移は、大局的にみて砂礫地(A)から樹林地(F)への一方向への変化である。河川の場合には、出水等による河道内攪乱により、遷移が進んだ過程から、砂礫地、河原系草地等への「更新」が生じるが、更新が、より生じにくくなる遷移段階があると考えている。図-8は、概念的整理にすぎないが、植生の

生育密度と植生の流体力への耐性の関係から安定草地(E)や樹林地(F)の状態に遷移した場合、砂礫地や河原系草地に更新される可能性は少ないと考えられる。これらの状態を回避するためには、安定草地(E)・樹林地(F)の状態に達する前に再度の河道掘削を行い、自然攪乱を誘導する必要がある。例えば、不安定草地(D)を一つの管理基準とし、不安定草地(D)が多く出現した時点で再掘削を行う必要がある。

しかし、ヨシ・オギ系草地(C)と不安定草地(D)への移行期に河川水辺の国勢調査の調査が行われ、更に5年以上調査が行われない場合、遷移の進行が早い河川においては、樹林地への遷移が完了している可能性がある。樹林地へ遷移してからの対策では事後的な対処方法となり、よりコストの高い河道管理になると考えられる。

このような現状を改善するのにUAV・AIによる河道内植生管理は大きな可能を持つ。UAVによる低高度空中写真、表層土壌材料・植物群落生育状況の把握は、従来の河川水辺の国勢調査よりも、より安価に表層土壌材料分布、河道内植生の生育状況を知ることが出来る。安価な調査費は、高頻度での調査を可能とする。流域スケールでみて、河道内植生の遷移が著しい場所、流下能力に大きな影響を与える場所等の重点調査地区を絞り、重点調査地区をUAV・AIにより監視することで、河川水辺の国勢調査では見落とす可能性がある樹林化へ不可逆的遷移過程の見逃しを確実に検出するような利用が可能となれば、より適切なタイミングで河道掘削事業を行えると考えられる。

今後は、UAV・AIの研究を掘り下げ、河道内植生の監視技術に発展させていく予定である。

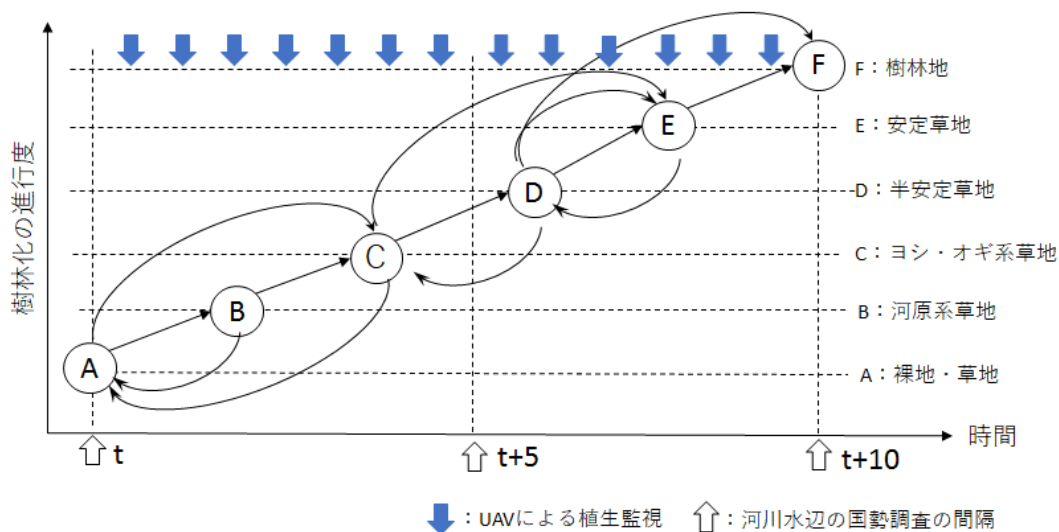


図-8 河川水辺の国勢調査とUAV・AIの植生動態監視の併用による植生管理方法案

## 4. 平成 29 年度（2017 年度）以降に実施すべき課題

### 4.1 気候帯・植物群落変化を考慮した調査研究対象河川の拡大と UAV データの更なる活用

平成 28 年度（2016 年度）は、信濃川水系千曲川河川事務所、民間 4 社と共同研究を行い、河道掘削に伴う掘削土砂量を削減するための水路掘削併用型の河道掘削手法の有効性を確認した。2 章においても指摘したが、水路掘削は先駆的な事例であり、全国の河川においては平面掘削が多く実施されているため、平成 29 年度以降は平面掘削を実施した河川において同様の検討を行う。

既往研究等において植生に大きな影響を与える気候帯を考慮し、千曲川に加え、久慈川・那珂川（茨城県水戸市近郊）、手取川（石川県白山市）、九頭竜川（福井県福井市）において実施された河道掘削対象に、UAV・AI を用いた河道内植生監視技術の開発を行う。同時に、UAV 画像を用いた SfM による河道内地形変化の把握・河床変動計算精度向上への応用、また、本研究の目的である植生動態モデルの構築を行う。

### 4.2 i-Constraction の普及を見据えた河道管理技術への発展

4.1 節で示した流れ、UAV を活用した空間データの取得は、現在、国土交通省で推進する i-Constraction を通じた建設現場の「生産性向上」に大きく貢献できると考えられる。

i-Constraction においては、UAV による 3 次元空間データの生成、3 次元空間データ変化の算出を通じた建設現場における掘削量の出来高管理の流れで建設現場の省力化を行う。河道掘削においても適用が進んでいる。本研究で提案する手法は i-Constraction とほぼ共通とするのデータプラットフォームであり、一連の流れで河道掘削後の再堆積・樹林化の進行を監視できる。施工、維持管理（河道の再堆積・植生管理）が一貫した流れとなり建設現場の「生産性の向上」に寄与すると考えられる。

## 5. 平成 29 年度における研究の取り組み

H28 年度においては、UAV（Unmanned Aerial Vehicle: UAV、通称：ドローン）の高解像度画像を対象に表層土壌材料・植物群落の境界を、AI を用いて認識できるのか検証した。また、H28 年度の先行研究で、植生動態モデルの基礎モデル開発に着手し、二次元での植生動態の再現に成功した。

平成 29 年度においては、表層土壌材料・植物群落の境界の自動認識から更に検証を進め、河川水辺の国勢調査等で河道内植生の監視に用いられる植生図を UAV 画像と AI

（Artificial Intelligence: AI）の適用により作成できるかを検証した。次に、植生動態モデルの基礎モデルの問題であった中小面積の植物群落動態（出現・消失）を再現できない問題の解決を行った。以上の取り組みは、河道内植生管理の高度化への可能性を有しているが、独立の技術として発展するよりも、自動作成した植生図と植生動態モデルを融合することで、観測技術と数値解析技術を目指す「データ同化」の枠組みを実現することが出来る。データ同化は、数値予報（コンピュータを用いた天気予報）で用いられる技術で、植生動態の定量的な予測を可能にする。このような背景から、観測技術と数値解析技術を融合する技術の基盤として近年、建築・土木の三次元化・情報化で注目される CIM（Constriction Information Modeling/Management）の適用を試行した。

以下に、平成 29 年度の実施内容を報告するとともに、平成 30 年度の方向性を整理する。

## 6. H28 年度における河道内植生の管理手法に関する取り組みと UAV と AI を用いた植物群落図の試行

### 6.1 平成 28 年度までの取り組み

H28 年度は、高解像度の UAV 画像を画像解析の 1 種であるオブジェクトベース分類（Objected Based Classification: OBC）技術を高解像度の UAV 画像に適用し、表層土壌材料・植物群落境界の自動認識に成功した。H29 年度は、境界の自動認識から一歩すすみ、AI による植生図の自動作成を行った。

図-1 に、植生図作成の手順と AI による自動化の手順を示す。一般に、植生図は、①空中写真内の表層土壌材料・植生境界の判読と境界の作成、②空中写真からの植物群落特定、③現地調査による植物群落特定の精査、以上の 3 つの段階で行われる。H28 年度の境界の自動認識は、①の段階の実施を可能にした。AI を用いて、②の過程を実施することが可能になれば、調査員は、③の作業を中心に実施すれば良く、大幅な労力の削減になる。また、①・②は調査員毎の判読誤差・特定誤差が多く、均質な精度を持つ植生図の作成には、①・②の定量化・自動化が必要となる。②の自動化の手順を次節に示す。

### 6.2 改良の方法

解析対象は、信濃川水系千曲川冠着地区を対象とした。H28 の植生図（河道掘削・念最大出水経験後）を地理情報システム（ESRI 社：ArcGIS 10.3、以下、Geographic Information System: GIS）に取り込んだ。その後、H28 年度に作成した境界図を用いて、H28 年度の植生図をインターセクト（分割）し、植生図と境界図を関連付けた。

関連付け後、画像のRGB 構成比、明度、輝度及び数値標高を対象に決定木を用いて境界図の分類を行った。その後、交差平均検証法（観測データを教師データ・検証用データに分け、その再現精度を検証する方法）を用いて、その再現精度を検証した。なお、画像解析・決定木の適用に関しての詳細については次年度、論文掲載後に記述する。

平成 28 年度までは、植生動態別に、河道内の植生動態に影響に大きな影響を与える 3 因子（平水位からの標高、水際からの距離、掃流力）の値と遷移確率の関係性を確率密度関数を作成した。その後、対象とする河道区間の 3 因子と植生遷移の確率密度関数を求め、3 因子が決定された場合の確率をそれぞれ求め、3 因子の平均確率が最も高い

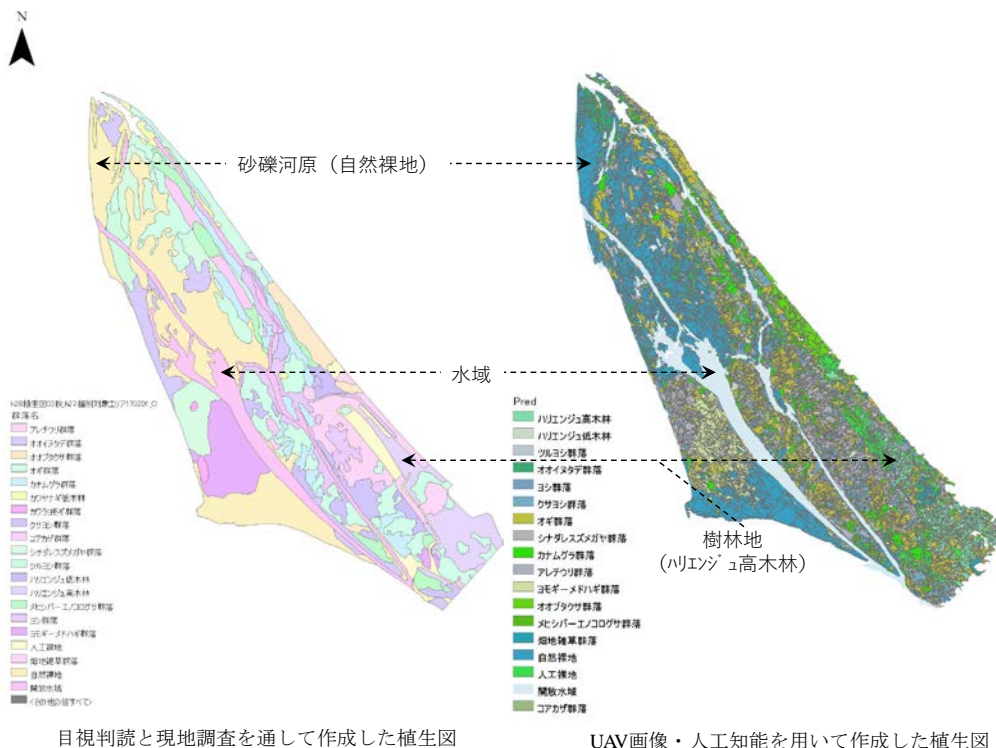


図-9 デジタル空中写真の目視判読と現地調査を通して作成した植生図と UAV 画像・人工知能を用いて作成した植生分類図の比較<sup>7)</sup>

### 6.3 結果

図-9 にデジタル空中写真の目視判読と現地調査を通して作成した植生図と UAV 画像・人工知能を用いて作成した植生分類図に比較を示す<sup>1)</sup>。人工知能は、河川内の陸域、水域を明瞭に識別し、優占する植生を判読した。特に、本研究の対象となる植生遷移を監視する上で重要な砂礫地、一年生草本、多年生草本、河道内樹林の構成比を一定の精度で再現できた点は本手法の可能性を示す。本手法の精度向上が実現し、一般性が担保されれば河道内植生管理の際に作成される植生図のコストを削減することにつながると考えられる。平成 30 年度以降は、精度向上と一般性の確認を行う。

## 7. 植生動態機構の解明と群落クラスタを用いた植生動態モデルの開発

### 7.1 H28 年度までの取り組みと改良の方向性

遷移経路を選択する判別関数を用いて、植生動態を予測した。植生の表現に関しては、植物群落を 3 因子の類似性でまとめた群落クラスタ (Plant Community Cluster : PCC) を用い、PCC 動態モデルとした。

PCC 動態モデルは、特定区間の面積比が高い植生動態の再現には成功したが、面積比が小さい群落等の再現が出来ない問題点があった。これら面積比が小さい植物群落、特に水際の植物群落には、重要種が生育する可能性が高い傾向があり<sup>8)</sup>、これら面積比が小さく水際に成立する植物群落の再現が重要となる。H29 年度は、面積比が小さい植物群落の再現に向けた改良を行った。改良は、判別関数の改良に着目して行った。

### 7.2 改良の方法

H28 年度に作成した判別関数は、対象区間における全データを同時に分析し、判別関数を作成した。吉野川のように河道区間の大半が砂礫河原であり、水際植生を表現す

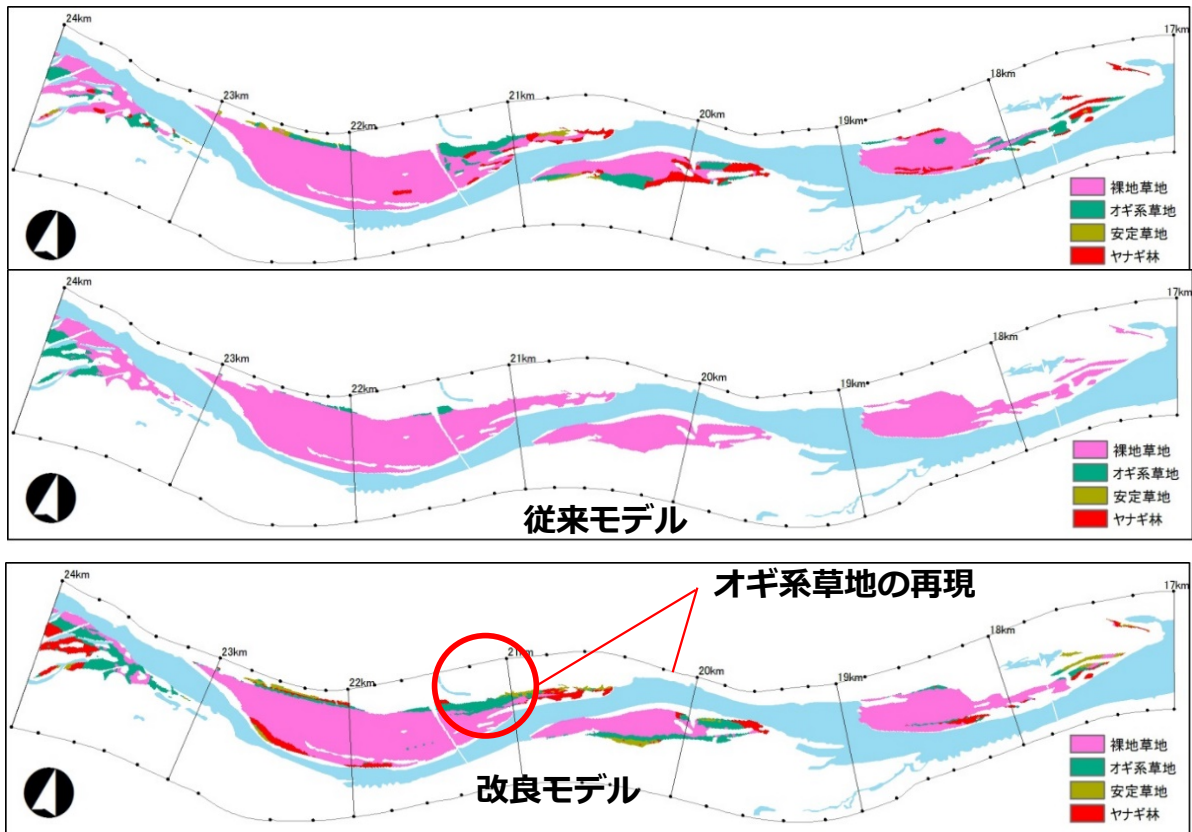


図-10 観測データ、PCCの判別関数の改良前、改良後の植生動態再現結果

るPCCが砂礫河原に比べると極めて小さい場合、3因子の判別関数は、砂礫河原の物理環境特性に大きな影響を受ける。その結果として、砂礫河原に比較して面積が小さい水際植生を表現するPCの大半は砂礫河原に誤判別された。そのため、判別関数作成時に、河道区間の大半を占めるPCC(吉野川では砂礫河原)の判別関数作成用データと、面積比が小さいPCCの判別関数を分離し、判別関数を作成した。なお、判別関数の詳細については次年度、論文掲載後に記述する。

### 7.3 結果

図-10に観測データ、PCCの判別関数の改良前、改良後の植生動態再現結果を示す。判別関数の改良は、河川内の水際域に形成されるPCCの再現に成功した。水際植生域の再生・維持・縮小・消滅を高精度で再現・予測することは、重要種の保全を検討していくうえで重要な進展である。平成30年度以降は、判別関数の決定にAIを導入する等の改良を行い重要種を内在するPCCの再現精度向上と予測技術への発展を行う。

## 8. 河道内植生管理へのCIM (Constriction Information Modeling/Management) への発展

### 8.1 UAV・SfMを用いた3次元データの高度利用の必要と実装のための技術検討

UAV・SfMを用いて生成される3次元データは、3次元データならではの特性を利用することで、河道内植生管理の高度化に大きな可能性を有している。

植生動態等の生物学的観点からは、植物は光合成に代表される炭酸同化の資源として、光資源をめぐる種・個体間で激しく競争し、光資源の獲得結果は植物の種・個体群の空間分布に大きな影響を与える。UAV・SfMにより生み出されるデジタル表層モデル(Digital Surface Models: DSM)は、植生の高さを定量的に表現し、植物の光資源獲得の状況を理解する重要な基礎情報となる。また、デジタル標高モデル(Digital Elevation Models: DEM)は、河道内地形の詳細な空間データを再現し、植生動態モデルで採用するパラメータである平水位からの比高、水際からの距離、を定量化する<sup>9)</sup>。

河川工学(水理学)の観点からは、DSMは、水理計算で粗度として取り扱う植生の植生高等・平面分布の定量化を可能とする。DEMに基づく河道内地形の高精度化は、平面流況計算・河床変動計算の精度を向上に寄与することが確認され<sup>10)</sup>、航空レーザ測量(Airborne Laser Bathymetry:



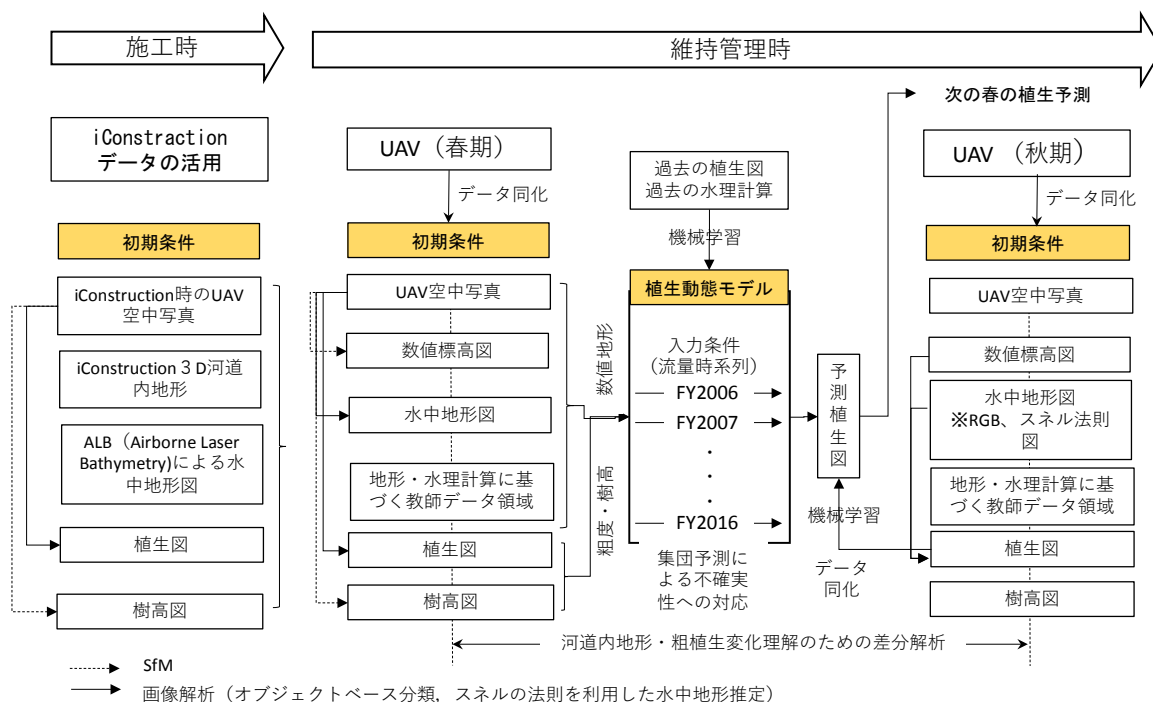


図-11 平成 28 年度に提案した UAV、植生動態モデル、アンサンブル予測と i-construction への応用

ALB)<sup>11)</sup>、ADCP 等の水中の河道地形の計測が可能な機材の情報と組み合わせることで、平面流況計算・河床変動計算の高精度化を行える。

上記の 3 次元データの利点を十分に活用し、植生動態モデルに適用することで、植生動態モデルの精度の向上に加えて、植生動態を規定する河道内地形、植生繁茂状況等を理解することにつながる。これらの理解は、河道内地形・植生に関する管理の目安（管理基準）の提案につながると考えられる。より発展すれば、平成 28 年度に提案したスキームの実装に近づくと考えられる(図-11)。

以下、CIM 技術の活用と 3 次元データの高度利用のための技術検討の結果を示す。

### 8.2 統合の方法

CIM に関しては、定義の共通認識、標準化、デファクトスタンダードのソフト認識等の一般化検討は、研究が着手され始めた段階と考えている。土木情報学の定義によれば、社会インフラのライフサイクル全体での一元的な情報管理の仕組みとして 3 次元モデルを中核とした情報共有の仕組み<sup>12)</sup>と定義される。本研究で作成した UAV・SfM の観測データは管理段階のデータと考えられる。

CIM 技術の検討に着手した H30 年度の段階では、河道管理用の CAD、本研究で取得した DEM、DSM 及び平面流況解析結果計算結果を可視化ソフト（サイバネット社：AVSexpress 上で結合することで、河道内地形・植生繁茂状

況、河道周辺地形の 3 次元的な表現の可能性を検証した。

### 8.3 結果

図-12 に河道管理用の CAD、本研究で取得した DEM、DSM 及び平面流況解析結果の合成結果を示す。視覚的であるが、可視化ソフトによる 3 次元データの表現により、水面、河道内地形、植生繁茂状況の空間構造を一体として、定量的に表現・理解できることがわかる

図-13 に堤外地の管理用通路沿いの景観再現結果を示す。DEM、DSM を用いることにより平易に河道内地形・植生繁茂状況を再現することが出来た。河川管理の現場では、堤防や河川管理用の道路からの河道内の見通しが植生伐採の判断基準になることが多いが、これらの判断に活用できると考えられた。

図-14 に出水時の河道内地形・平面流況計算の再現結果を示す。出水時には河道内に入り観測することができないが、河道内地形植生繁茂状況を出水前後に計測し、その差分から河床変動量を算出し、平面流況計算・河床変動計算の結果を重ねることで、出水による攪乱が河道内地形・植生繁茂状況をより定量的に理解することができる。

以上の検討により、CIM の概念を適用し、DEM、DSM、平面流況計算結果を、3 次元的に組み合わせることにより、河道掘削後の河道内地形・植生の変化が生じた場所の流況条件の定量化、実測できない出水中の流況条件の定量化、景観評価への発展性等を確認することが出来た。

平成 30 年度年度以降は、i-construction 実施時の計画・施工の 3 次元データがある河川等を選定し、計画からモニタリング評価まで、一貫したデータを作成し、その有効性を検討する。

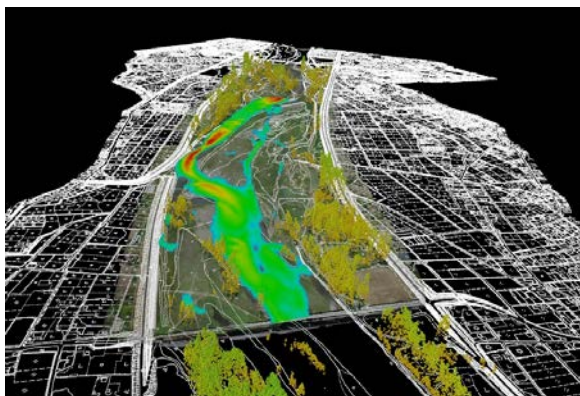


図-12 河道管理用の CAD、本研究で取得した DEM、DSM 及び平面流況解析結果の合成結果

### 9. 平成 29 年度のまとめと平成 30 年度の実施計画

平成 29 年度は、平成 28 年度に提案したデータ同化のスキームを構成する観測技術とモデル化技術の研究を進展させた。その結果、課題は残るものの観測技術として UAV・AI を用いた植生図の自動作成に成功した。PCC 動態モデルの開発に関しては、優占的に生育する植物群落、面積小さい重要な植物群落を分けて、PCC を用いた植生動態モデルの植生を決定する判別関数を個別に定義することで植物群落の再現精度を向上した。更に、UAV・SfM の 3 次元データの生成をベースに、CIM への発展を確認出来た。

平成 30 年度は、実河川における河道内植生管理に本

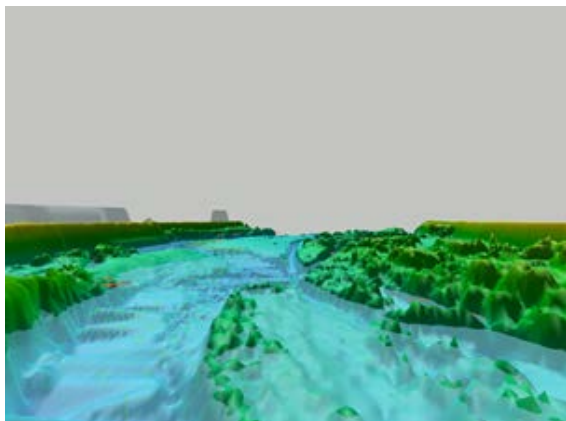


図-14 出水時の河道内地形・平面流況計算の再現結果

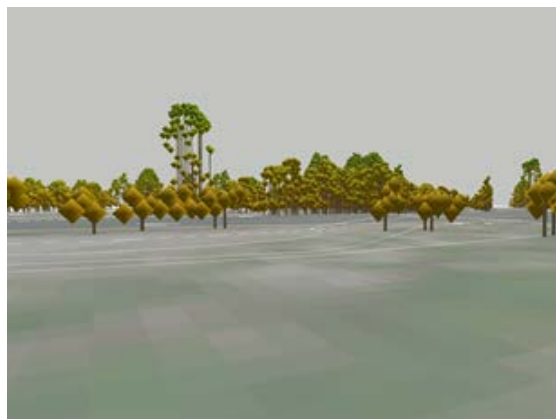


図-13 堤外地の管理用通路沿いの景観再現結果

研究が目指すデータ同化のための CIM 技術の適用を行い、本研究の提案するデータ同化の枠組みが河道内植生管理の技術の高度化へ貢献できるか河川管理の現場の協力を得て行う予定である。

### 10. まとめ

平成 28 年度においては、河道掘削による砂礫河原再生、樹林化抑制を低コストで行うために、旧流路部を活用し洪水流を陸域へ導水する水路掘削と平面掘削の併用による砂礫河原再生を国道交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所と共同で検討した。その結果、砂礫河原再生、樹林化抑制、掘削コストを 1/3 に圧縮した。同時に、近年、開発・普及が進む UAV の画像を、人工知能を用いて分析し、植物群落境界の自動検出・表層土壌材料の自動判読の可能性を確認した。

平成 29 年度においては、UAV 画像と AI (Artificial Intelligence : AI) を用いた植生図の自動作成の可能性の検証、中小面積の植物群落動態 (出現・消失) を再現できない PCC 植生動態モデルの改良、近年、建築・土木の三次元化・情報化で注目される CIM (Construction Information Modeling/Management : CIM) の有用性を検討した。その結果、UAV 画像と AI を用いた植生図の自動作成の可能性の確認、PCC 植生動態モデルの中小面積の植物群落動態の再現の成功、CIM 技術の適用による河道内地形・植生動態の再現の可能性を確認した。

### 参考文献

- 1) 田屋祐樹・槇島みどり・赤松史一・中西哲・三輪準二・萱場祐一:河道内樹林の効率的な管理に向けた 伐採後の萌芽再生抑制方法の検証、河川技術論文集、第19巻、pp. 459-464、2013
- 2) 松田浩一・内堀寿美男・清水義彦・石原正義・藤堂正樹：固定

## 11 治水と環境が両立した持続可能な河道管理技術の開発

- 化砂州での掘削路開削による洪水攪乱の誘発と樹林化抑制対策に関する研究、河川技術論文集、第16巻、pp.235-240、2010.
- 3)山口里実・渡邊康玄・武田淳史・住友慶三：流路の固定化が進行した河道における効率的な旧流路回復手法に関する検討、河川技術論文集、第21巻、pp.217-222、2015.
- 4)西嶋 貴彦・前田 諭・阿部 充・五十嵐 武・竹内 洋子：千曲川中流域の試験的河道掘削に関する研究、リバーフロント研究所報告 Vol.25、pp. 3-12、2014.
- 5)八木澤順治・田中規夫：洪水時における砂礫州上の土砂堆積とそれに応じた植生遷移を考慮した植生動態モデルの開発、土木学会論文集B1(水工学)、Vol.70、No.3、pp. 71-81、2010.
- 6)村上拓彦・大西紀子・加治佐剛・溝上展也・吉田茂二郎・林相区分を目的としたオブジェクトベース画像解析における最適なセグメンテーションの検討、写真とリモートセンシング、Vol.49、No.3 pp. 159-165、2010.
- 7)傳田正利：生物多様性と洪水流下に影響を与える河川内樹林の過剰繁茂、リモートセンシング学会誌38巻5号、2018 (採択済み) .
- 8)片桐浩司、池田茂、傳田正利、萱場祐一：河道内氾濫原における水生植物群落の劣化要因の解明とその再生にむけて、河川技術論文集22、2016.
- 9)田頭氏：生物多様性と洪水流下に影響を与える河川内樹林の過剰繁茂、河川技術論文集、巻号、頁、2015年6月.
- 10)Masatoshi DENDA: Validation of high-precision effects of a movable riverbed simulation using unmanned aerial vehicles and structure from motion, proceedings of River Flow 2018 (accepted)
- 11)中村圭吾・福岡浩史・小川義史・山本一浩：グリーンレーザ(ALB)による河川測量とその活用、リバーフロント Vol.84、No.1234、pp.16-19、2017.
- 12)土木情報学委員会教育企画小委員会：土木情報学 一基礎編一、pp. 197、丸善、2017.

## 11.2.2 魚類生息・産卵環境及び河道維持管理を考慮した低水路の河道掘削技術に関する研究

担当チーム：寒地水圏研究グループ（水環境保全チーム）

研究担当者：新目竜一、谷瀬敦、片岡朋子、布川雅典

### 【要旨】

本研究は、魚類生息・産卵環境と河床地形・底質との関連性を評価・把握すると共に、維持管理上有利な河道掘削技術の開発を目指して低水路掘削河道の河床変動応答特性の把握を目的に実施している。平成 29 年度は、豊平川におけるサケの産卵環境改善を目的に掘削路造成による現地実験を行い、その有効性について確認した。また、掘削後河道に形成された分流と砂州前縁部との河床間隙水温についてサケ産卵生育環境から考察した。

キーワード：細粒土砂、産卵床、河床間隙水温

### 1. はじめに

近年、砂州の固定化やそれに伴うみお筋の固定化による河床低下の進行が問題視されている<sup>1)</sup>。これらは治水、河川維持管理上の問題だけではない。河床底質の変化や氾濫原の減少から、魚類の生息場や産卵場にも影響を及ぼしている。

これまで流下能力向上を目的として、全国的に河道掘削が行われてきた。最近では、固定砂州内に掘削路を設けることで、中小規模洪水でも洪水攪乱を促す取り組みもある<sup>2)</sup>。攪乱効果によって樹林化抑制や、掘削路内に魚類の生息場が創出できると言われている<sup>3)</sup>。また、河道拡幅により、砂礫の堆積を促して河床低下を解消する取り組みもある<sup>3, 4)</sup>。しかし、掘削の方法によっては、土砂が再堆積することで、期待した結果が持続しない場合もある<sup>5)</sup>。このように、河道掘削の手法と期待する結果、その河道応答は様々である。しかし、これまで治水と魚類の生息環境および産卵環境が両立できる河道維持管理を考慮した掘削手法に関しての知見は少ない。

この様な背景から本研究では、達成目標②「河道掘削等の人為的改変に対する魚類の応答予測技術の開発」について検討し、魚類の生息産卵環境に配慮し、河道維持管理に有利となる河道掘削手法の提案を最終目的としている。

平成 29 年度（2017 年度）は、2 章に石狩川支流豊平川中流部における小規模掘削によりサケ産卵環境創出の現地試験を実施し、掘削手法の 1 つとしての有効性を確認した。3 章では、掘削後河道に形成された分流における河床間隙水温の変化からサケ産卵生育環境としての可能性を検討した。また、各章の最後に平成 30 年度（2018 年度）以降への研究展開を整理する。

## 2. 豊平川中流部における小規模掘削によるサケ産卵環境の創出

### 2.1 掘削路造成の経緯

豊平川では、毎年の中流部の流程約 10 km の範囲でサケ（*Oncorhynchus keta*）の産卵が見られる<sup>6)</sup>。豊平川で 9 月から 11 月に産卵するサケは前期群、12 月から 1 月に産卵するサケは後期群<sup>7)</sup>とされており、前期群は産卵範囲の全域に、後期群は産卵範囲の下流側に集中している<sup>7)</sup>。これは、温かい湧水を好む後期群が、湧水の湧き出る扇状地の扇端部である下流側を選ぶため<sup>8)</sup>とされている。また、前期群が産卵する上流側では、河床低下により<sup>9)</sup>岩盤の露出が進むことでサケの産卵に適した礫の減少が懸念されている<sup>7)</sup>。また後期群の産卵範囲の最下流部は、湧水に鉄分が含まれることでサケが忌避している可能性が指摘されている<sup>8)</sup>。このように、豊平川のサケを取り巻く河川環境は厳しい現状にある。このような中、前述の後期群の産卵床の分布が多い産卵範囲の内、産卵床数が減少しているところがある<sup>10)</sup>。寄り州の下流部にくぼ地となって形成された alcove<sup>11)</sup>において、礫の上に細粒分が堆積しており、産卵床の減少の原因は、この細粒分の堆積によるものである可能性があった。

これまでは、サケの生息環境に配慮するため、魚道整備<sup>12)</sup>をはじめとする遡上阻害の解消を行ってきた。しかし、産卵環境改善を目的とした取り組みはこれまで殆ど行われていない。これらを踏まえ、本研究では豊平川の alcove において、サケ産卵環境改善に向けた取り組みとして、主流路から導水するための掘削路を造成し、人為的に細粒分を流出させる試験を行った。そして、alcove の河床に堆積した細粒分の厚さの変化と、サケ産卵床数を掘削路造成前後で比較した。これにより、掘削路造成試験の効果検証を行うことを目的とした。

### 2.2 調査地

調査地が位置するのは、札幌市中心部を流れる石狩川支流豊平川中流部である（図-1）。石狩川との合流点から上流 12.2km 左岸側の alcove（図-2）で、主流路からの背水と、上流から砂州からの浸み出しが目で確認でき、

平水時は流れが停滞した状態の水域である。

## 2. 3 調査方法

### 2.3.1 掘削路造成

調査地は、alcove 上流部に砂州が厚く堆積しており、平水時は冠水することはなかった。しかし、掘削路造成前の2017年9月18日の降雨による増水(2017年9月18日14:00の雁来観測所地点で水位5.98 mを観測<sup>13)</sup>で砂州上を流れた。2日後には、堆積した砂州上に増水時の流路跡に水が残っていた(写真-1)。この流路跡に沿って、2017年9月25日から26日にかけて掘削路を造成した(写真-2)。掘削路は、延長120 m、河床勾配200分の1、水路下幅1 m から2 m 程度、床掘勾配は1:1程度とした。

### 2.3.2 細粒分堆積厚の計測

砂州にできた alcove の最上流 (KP12.2+13.5 m) から40 m までの区間において、1 m ごとに河床の細粒分堆積厚を計測した。掘削路造成前の2017年9月6日(1 m

から24 mまで)、9月12日(26 m以降)、造成から24日後の2017年10月20日に計測した。計測位置は、流心から左右岸側それぞれ1 m 以内で最も細粒分の堆積した箇所とし、河床下の砂礫層までを計測した。

### 2.3.3 サケの産卵床

調査区間におけるサケ産卵床数は札幌市さけ科学館が実施しているサケ産卵床調査<sup>10)</sup>の結果を利用して明らかにした。この調査は、毎年行われており、ここでは2013年から2017年のデータを使用した。調査は毎年当年9月から翌年1月まで行われており<sup>13)</sup>、毎月複数人で徒歩により河床を確認する方法で産卵床数を計数している<sup>8)</sup>。

## 2. 4 結果

掘削路を造成すると、調査区間には本流からの河川水が掘削路を経て alcove へ常時流入するようになった。掘削路の平均水深は17 cm、平均流速は37 cm/sとなり、数日から数週間で掘削路内に瀬淵構造が認められるよう



図-1 石狩川支流豊平川中流部に位置する調査地  
(地理院地図(提供 国土地理院)に加筆)

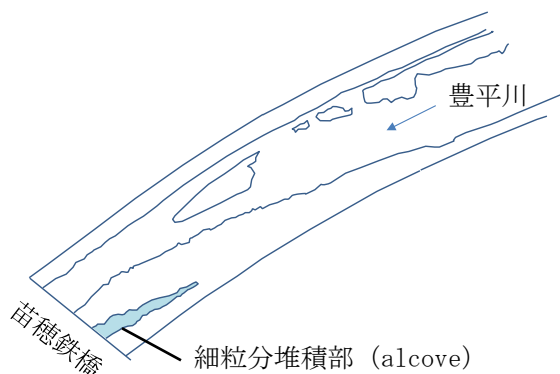


図-2 苗穂鉄道橋上流左岸の細粒分堆積部 (alcove)



写真-1 掘削路造成前の alcove 上流に堆積した砂州  
2017年9月18日の降雨による増水後に砂州  
上流路跡に河川水が残る様子(2017年9月  
20日撮影)



写真-2 alcove 上流に堆積した砂州の掘削路造成作  
業(施工最終日の2017年9月26日に本調査  
地の左岸砂州上から本流上流方向を撮影)

になった。alcoveには河川水の流入に伴って、alcoveの最上流部の一部(幅2m、延長8m)に上流からの粒径の粗い土砂が堆積した。

### 2.4.1 細粒分堆積厚の変化

調査区間における造成前の細粒分の堆積厚はほとんどの地点で5cm以上あり、下流に向けて堆積厚が増加する傾向を示し、特に26m地点では最大値32cmとなっていた。このような堆積物は、多くが砂および粒径0.075mm未満の細粒分だったが、その下には礫(2mmから37.5mm)が堆積していた。掘削路造成後は、細粒分の堆積厚が下流に向けて増加する傾向は認められず、堆積厚はどの調査地点においても5cmよりも小さくなった(図-3)。また、造成後は多くの場所で、細粒分の堆積厚が大幅に減少したことから粒径の粗い礫が観察されるようになった(写真-3)。

### 2.4.2 サケの産卵床数と産卵時期の変化

5カ年にわたるサケの月別産卵床数の変化を示す(図-4)。本調査区間のalcoveにおける産卵床は、どの年も9月には確認されていなかった。2013年に確認された産卵床は14カ所だったが、2014年と2015年は2カ所しか確認されなかった。2016年は9カ所確認されていたが、掘削路造成後の2017年は造成前の過去4カ年いずれの年をも上回る19カ所が確認された。

調査月別で見ると、10月と11月に確認される産卵床の数は少なく、11月に確認された年は2013年と掘削路造成後の2017年だけであり、10月に確認された4カ所は掘削路造成後の2017年のみであった。また、9月から11月の産卵床を前期群、12月から1月までの産卵床を後期群とすると、前期群の産卵床は掘削前では2013年に3カ所確認されていたが、2014年から2016年までは確認されなかった。しかし、掘削路造成後の2017年には6カ所確認された。また、後期群の産卵床は、掘削前後を含むいずれの年でも確認されており、産卵床数の多かった2013年には11カ所、2017年では13カ所が認められ

ていた。この結果は、掘削路造成後には前期群、後期群ともに産卵床は過去5年で最も多かったことを示している。

### 2.4.5 考察

本研究では、掘削路造成によりalcoveに主流路からの河川水が常時流入するようになった。それにより、河床に堆積した細粒分が大幅に減少した。サケの産卵床を構

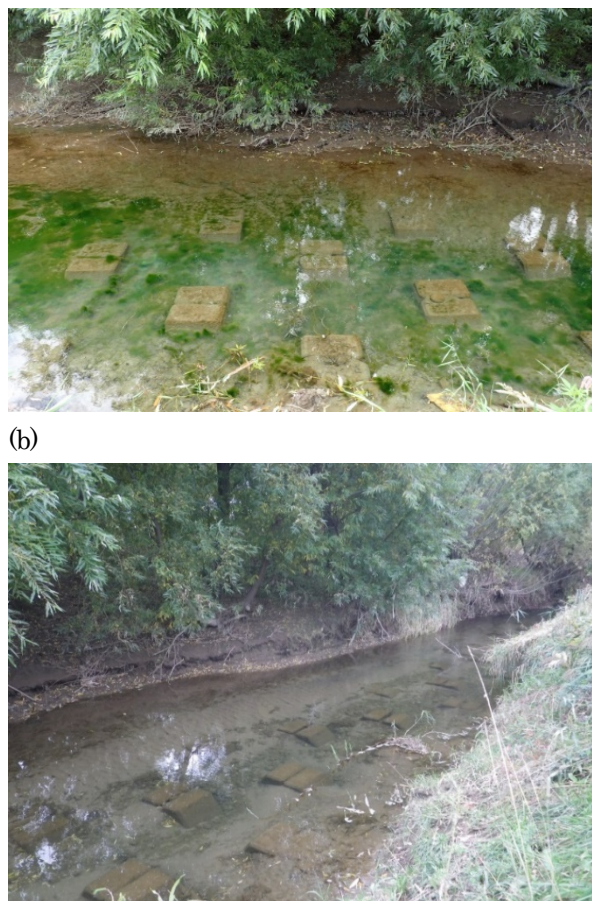


写真-3 掘削路造成前(a)と掘削路造成後(b)のalcoveの様子(2017年9月10日と2017年10月11日に撮影。河床の変化がわかる。)

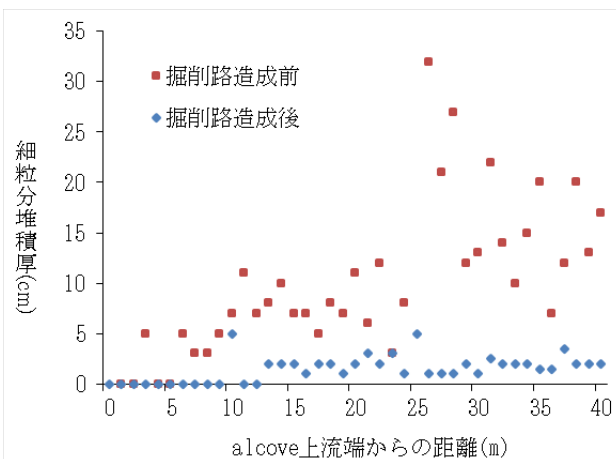


図-3 調査地のalcoveにおける細粒分堆積厚の変化

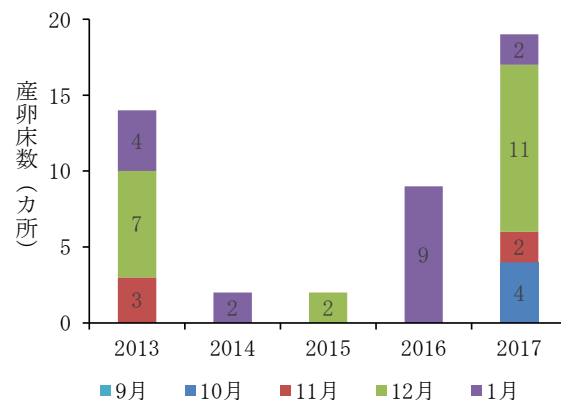


図-4 調査地のalcoveにおける2013年から2017年までの産卵床数

成する河床材料には粒径0.5 cm から3.0 cm の中型砂利が多い<sup>14)</sup>とされている。alcove内の産卵床は、掘削前は細粒分で覆われた河床に形成されていたことから、サケが産卵する際にはまず細粒分を掘り返し、さらにその下にある粗い粒径の砂利を掘って産卵していたことが考えられる。掘削路造成により堆積した細粒分が減少し、下部に存在していたこのような粗い粒径の砂利が出現することで、産卵時の掘り返しの程度が小さくなったと考えられた。よって、今回行った掘削路造成は、本alcove内のサケの産卵環境を造成前より改善したと思われる。

今回前述したように、掘削路造成により河床に堆積していた細粒分が減少した。また、2013年から2016年までの4年間の各年のサケ産卵床数と2017年の産卵床数を比較すると、掘削路造成後の2017年が最も多かった。その中でも、前期群と後期群どちらの時期でも産卵床が増加していた。本調査地付近は豊平川扇状地の扇端部に位置しており、滞留時間の長い湧水が豊富な場所であることから、冬季の河川水温より高い水温環境を好む後期群の産卵環境として知られている<sup>8)</sup>。今回、掘削路造成により細粒分が減少して産卵床としての河床材料組成が良好となり、産卵環境が改善した。このことが、湧水の存在とともに後期群の産卵床増加につながったと思われる。一方で、本alcove上流部では、細粒分の流出と同時に粒径の粗い土砂の堆積と流速の大きな流れが認められた。このような場所は、扇状地による滞留時間の長い湧水だけではなく、瀬淵構造のような空間スケールの小さな河川地形による、滞留時間が短く水温が河川水に近い伏流水の発生が考えられる。このような場所は前期群の産卵環境として適している<sup>9)</sup>。そのため、今回の掘削路造成は、後期群の産卵床だけでなく、前期群の産卵床も増加させたと考えられた。

今後は、alcoveの河床変化とサケ産卵床との関連性についての研究を掘り下げ、河道掘削等の人為的改変に対する魚類の応答予測技術の開発に発展させていく予定である。

### 3. 天塩川中流部における河道掘削後の分流のサケ産卵床内の水温変化

#### 3.1 目的

北海道の北部を流れる天塩川において2009年と2010年に河道掘削が実施され、砂州状地形が発達しその中に分流が形成されるようになった。その後、2014年と2015年にサケがこの分流を含む河道に産卵していたことが観察されている<sup>15)</sup>。

一方で、このような分流は河川水位が低下すると干出することが知られている<sup>16)</sup>。前述の河道掘削後にできた分流においても、河川水位が低下する冬期間に干出しているのが認められた。しかし、分流が卵の生育環境として適当であるかについて、河床の干出状況を考慮した河床間隙水温の変化は検討されていない。

そこで本研究では、掘削後の河道に形成された分流において、河床間隙水温の変化を明らかにして、サケの産卵環境としての分流の産卵環境の適正について考察した。

#### 3.2 方法

##### 3.2.1 調査地概要

調査は北海道の北部を流れる天塩川流域（流域面積 5、590 km<sup>2</sup>、幹川流路延長 256 km）の中流部に位置する美深町において行った（図-5）。天塩川にかかる美深橋の上下流において、2016年11月4日と2017年3月8日に調査を行った。美深橋周辺ではサケが付近のふ化場へ向けて遡上しており、産卵行動を見ることができる。

河道掘削後に発生した分流の河床間隙水（以下、間隙水）温を明らかにするために、美深橋上流左岸にある砂州内部を流れる分流下流部（以下、AL とする）を調査地点とした。また、この分流との比較を行うために美深橋下流左岸の砂州前縁部（以下、SB とする）にも調査地点を設けた（図-5）。これらのいずれの箇所にも伏流水があることを確認した。

##### 3.2.2 水温測定

AL と SB における間隙水温および、AL における河川水温を連続計測した。自記式水温計（Tidbit v2、Onset 社製）を使用し、間隙水温は、河床から深さ 20 cm の位置で計測した。河床深さは、サケ卵が埋められている産室の深さを参考とした<sup>17)</sup>。

河川水温の計測場所は、水位低下により干出することや、積雪状態となる場合もあった。この時期や状況を推測するために、美深アメダス観測所（北海道中川郡美深町西町、北緯 44 度 28.8 分、東経 142 度 20.5 分）における降雪量、日平均気温データを参照した<sup>18)</sup>。また、AL の水深を把握するために、美深橋水位流量観測所の時刻

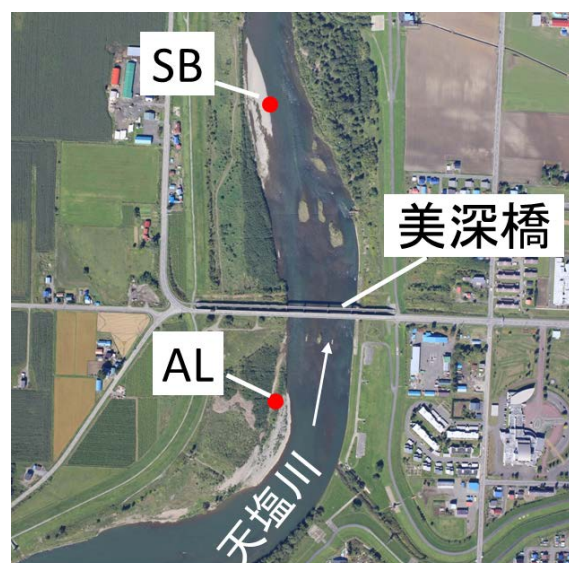


図-5 美深橋上流の分流下流部(AL) と美深橋下流の砂州前縁部(SB) における水温測定箇所

水位データを使用した。ALの水位と河床高を2016年12月20日に計測し、ALと美深橋水位流量観測所地点の同時時刻水位との水位差を算出した。水位差を一定と仮定して、ALの時刻水位と河床高との差を水深とした。

### 3.3 結果

ALおよびSB両地点ともに、間隙水温は河川水温に比べて日変動が小さいことが観察された(図-6)。また、間隙水温は、河川水温と同調して変動している傾向が認められ、この傾向はALにおいて顕著であった。ALの間隙水温は、ほとんどの期間で河川水より1℃から2℃高いが、SBのそれは河川水より低かった。特に、ALでは12月中旬から1月中旬までと、2月下旬以降は2℃から3℃を示していた。

河川水温を計測したALでは、河床が水面下にある期間は河川水温が1℃から7℃を示していた(図-7a)。12月中旬から1月中旬には、水位が下がり河床が干出する状態が続いていた。またこの時期には降雪が認められ(図7b)、設置した自記水温計は水位低下後、積雪下だったことが考えられた。この期間は、河川水温が0℃付近を

示していた。降雪があった場合にも積雪深が1cmから2cmとわずかで水温計が積雪下でない場合や、河川水により雪が流出した直後に水位が低下し、水温計が氷点下の外気に露出した場合には、河川水温が0℃より下回っていた。

ALでは12月中旬から1月中旬の河床が干出していた。また、この時期には間隙水温が2℃から3℃を示していた(図-8)。SBでは、12月上旬頃に間隙水温が0℃となり、その後2月頃までほとんど変動がみられなかった。

### 3.4 考察

#### 3.4.1 水温変化

調査の結果から、両調査地点で間隙水温は河川水温に比べて日変動が小さく、間隙水温は河川水温と同調して変動する傾向がみられた(図-6)。これは、河床内に河川水が浸透している可能性が高いためと考えられる。また、両調査地点において伏流水が確認されていた。これらのことから、掘削後の河道においても河床間隙水域で河川水と地下水との交換がある<sup>19)</sup>ことが示唆される。

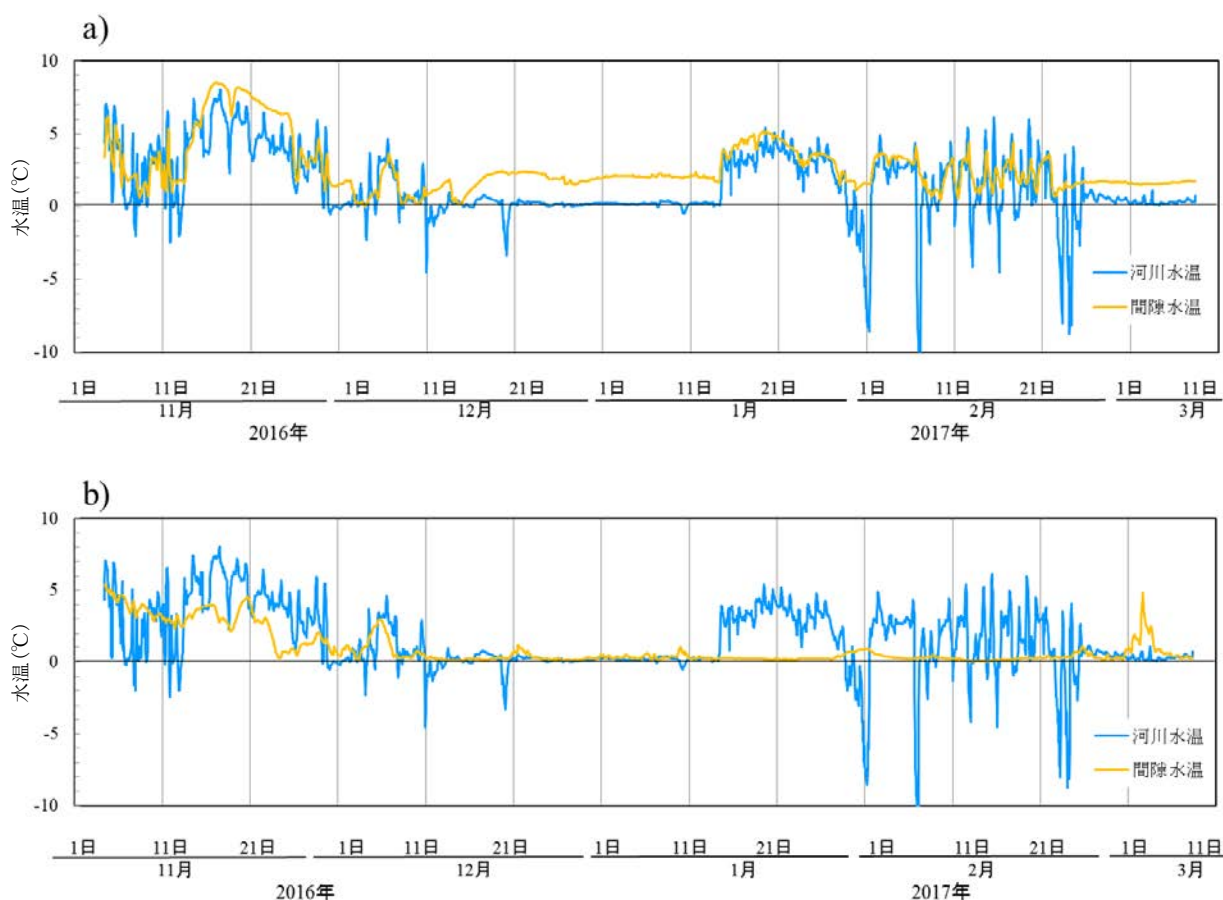


図-6 a) 美深橋上流の分流下流部(AL) と b) 美深橋下流の砂州前縁部(SB) における河川水温と間隙水温  
河川水温は両地点ともにAL付近の河床に設置した水温計の値を用いた。



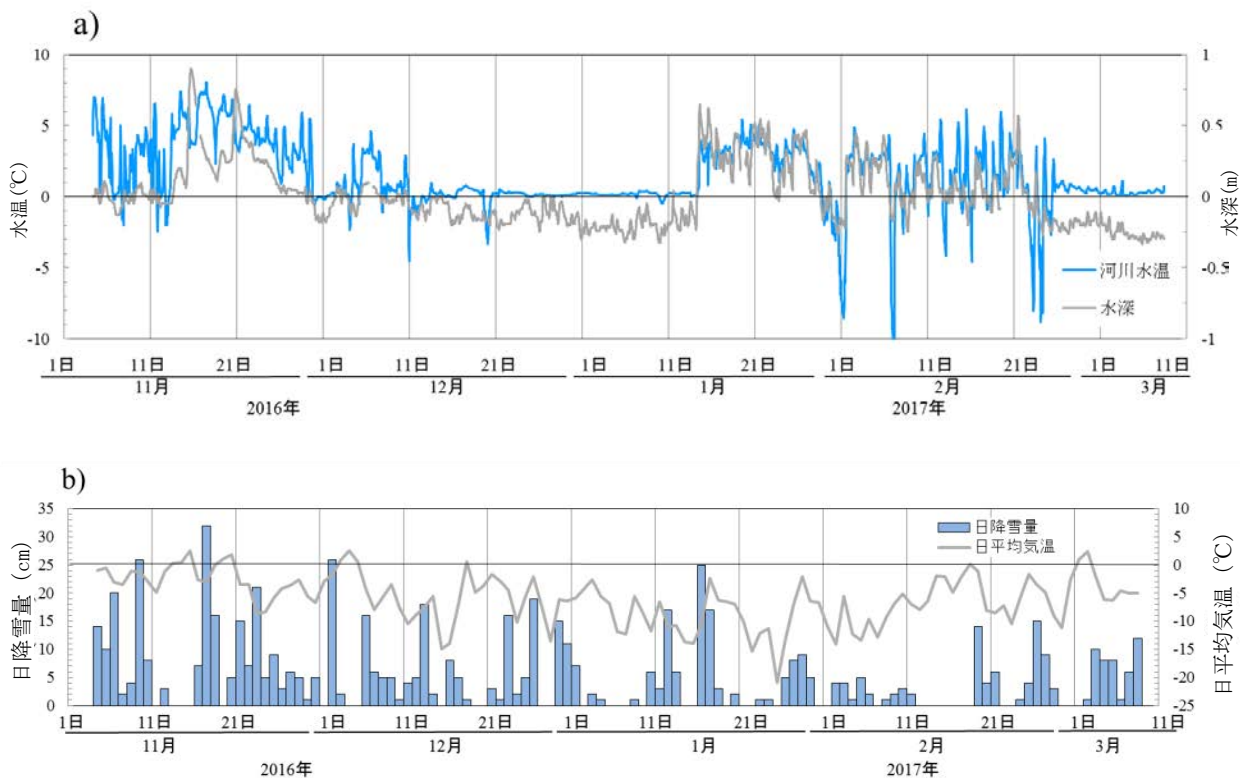


図-7 a) 美深橋上流の分流下流部(AL) における河川水温と水深の変化  
 b) 美深アメダス観測所の日降雪量と日平均気温

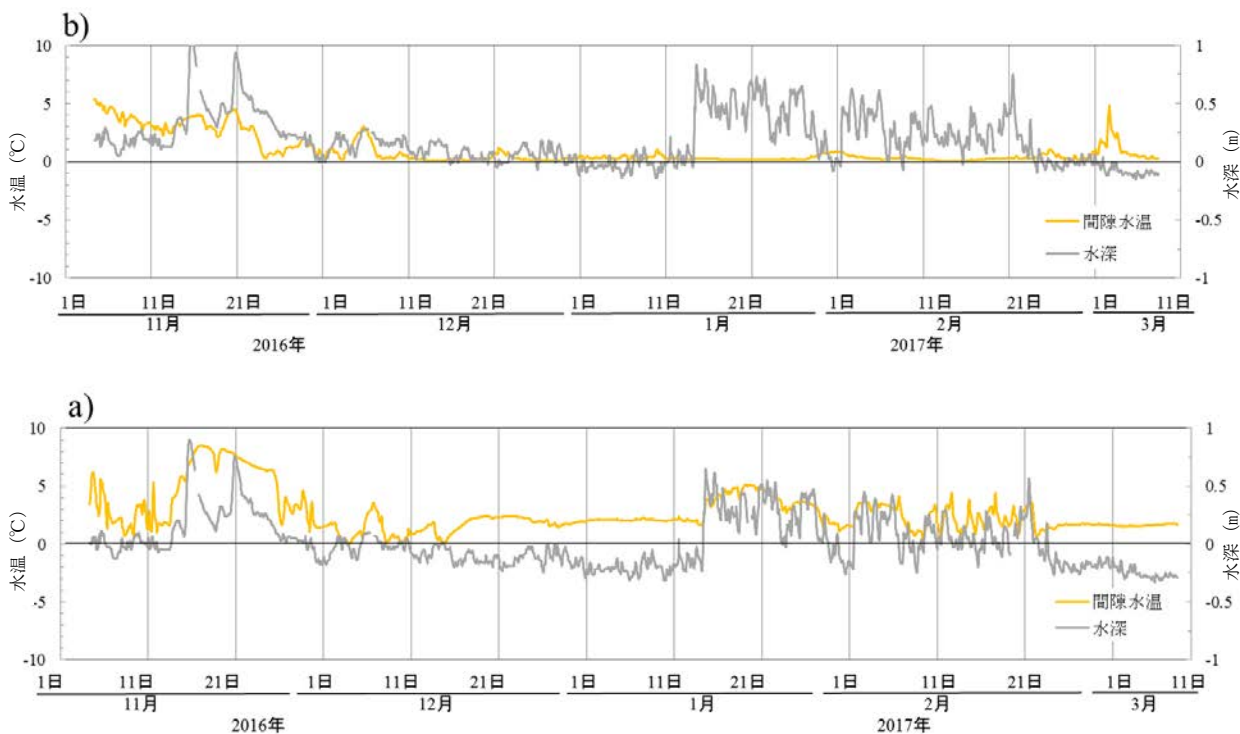


図-8 a) 美深橋上流の分流下流部(AL)と b)美深橋下流の砂州前縁部(SD) における間隙水温と水深の変化

12月中旬から1月中旬の期間のALにおける間隙水温は2℃から3℃で安定していた(図-6a)。またこの時期は干出している時期であったが、積雪下になっている河川水の水温計は約0℃を示していた(図-7)。つまり、

この時期は河床面で溶けた雪からの水が河床へ浸透するくらいで、河川水はほとんどなく、浸透水が少なかったと推測される。そのため、河床間隙水域は水温の高い伏流水が多くをしめており、それにより約2℃という高

い水温が維持されていたと考えられた。

サケの生育には湧水が必要であり<sup>6)</sup>、受精後からの積算水温が480℃で卵がふ化し、900℃から1000℃で稚魚が浮上し泳ぎ出す<sup>20)</sup>。こうして浮上した稚魚は融雪増水期に合わせて海へ降下すると言われており<sup>21)</sup>、それまでに、浮上に必要な積算水温に達する必要がある。この点から考えると、水温が低下する1月から2月の間に卵の周辺の水温が約2℃を維持しているこのALは、卵の生育環境に適した水温環境を有しているといえる。

SBの間隙水温は、12月中旬までALと同様に河川水温に比べて日変動が小さく、河川水温に同調して変動する傾向があったが、その後は0℃付近で変化が見られなかった(図-6b)。これはALと異なり、浸透路長の長い伏流水がこの付近の河床間隙水域を涵養していないことを意味している。

SBの間隙水温は12月には0℃付近で推移していた。一方で、サケの卵は受精から発眼までの期間に0.6℃以下となると発育が進行しない<sup>22)</sup>。12月中旬から間隙水温が0℃となったSBにおいては、この時期に産卵が行われた場合、卵の生育が進行しないことが考えられる。仮に10月下旬に産卵されれば発眼までは生育するだろう。しかし、11月に100℃から150℃の積算水温となった後には、間隙水温が約0℃となることから、積算水温を上昇させることができない。

今後は、河道内の砂州地形と魚類の生息産卵環境の研究を掘り下げ、治水と環境の両立を図る河道掘削・維持管理技術の開発に発展させていく予定である。

#### 4. まとめ

本研究は、河道掘削とサケの産卵環境に着目してサケの産卵環境改善を目的に掘削路造成による現地実験を行い、その有効性について確認した。また、掘削後河道に形成された分流と砂州前縁部との河床間隙水温についてサケ卵の成長の観点から考察した。

#### 参考文献

- 1)北海道開発局、国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所：北海道の急流河川における河川整備に関する研究(その2)、第59回北海道開発技術研究発表会、治水、2015。
- 2)松田浩一、須藤達美、内堀寿美男、大島秀則、清水義彦、藤堂正樹：固定化砂州での掘削路開削による洪水攪乱の誘発と樹林化抑制対策に関する研究(その2)、河川技術論文集、vol.17、pp.233-238、2011。
- 3)原田守啓、高岡広樹、大石哲也、萱場祐一：扇状地の中小河川における部分拡幅工法の有効性、河川技術論文集、Vol.21、pp.253-258、2015。
- 4)山口昌志、柿沼考治、井上卓也、清家拓哉、加藤一夫：軟岩洗堀を考慮した大型模型実験を用いた河床低下対策手法の評価について、土木学会論文集B1(水工学)、Vol.73、No.4、pp.I\_853-I\_858、2017。

- 5)永山滋也、原田守啓、佐川志朗、萱場祐一：揖斐川の高水敷掘削地におけるイシガイ類生息環境—掘削高さおよび経過年数との関係—、応用生態工学、vol. 19、no. 2、pp. 131-142、2017。
- 6)鈴木俊哉：自然再生産を利用したサケ資源保全への取り組み、SALMON情報、no.2、pp.3-5、2008。
- 7)有賀望、森田健太郎、鈴木敏哉、佐藤信洋、岡本康寿、大熊一正：大都市を流れる豊平川におけるサケ(*Oncorhynchus keta*)野生個体群の存続可能性の評価、日本水産学会誌、vol.80、no.6、pp.946-955、2014。
- 8)岡本康寿、小原聡、佐藤信洋、高山肇：豊平川におけるシロザケ産卵床の分布と湧水の関係(1996年度)、札幌市豊平川さけ科学館館報、no.9、1997。
- 9)北海道開発局札幌開発建設部：石狩川水系河川整備計画豊平川河川整備計画  
[https://www.hkd.mlit.go.jp/sp/kasen\\_keikaku/kluhh400000hckw.html](https://www.hkd.mlit.go.jp/sp/kasen_keikaku/kluhh400000hckw.html)(平成30年1月5日確認)
- 10)柳井清治、長坂有、佐藤弘和、安藤大成：都市近郊溪流における木製構造物による流路とサクラマス生息環境の改善、応用生態工学、vol.7、no.1、pp.13-24、2004。
- 11)海野 武史、小林 幹男、萬谷 俊哉：北海道開発局における多自然川づくり戦略について、第55回北海道開発技術研究発表会、環38、2012。
- 12)国土交通省：水文水質データベース、<http://www1.river.go.jp/>(平成30年1月5日確認)
- 13)札幌市さけ科学館：サケ調査情報、<http://www.sapporo-park.or.jp/sake/?p=4274>(平成30年1月5日確認)
- 14)佐野誠三：北日本産サケの生態と養殖について、さけ・ます・ふ化場研究報告、no.14、pp.21-90、1988。
- 15)大串正紀、佐々木猛、幸田学：天塩川上流河道掘削におけるサケ産卵床形成への配慮について、第59回北海道開発技術研究発表会論文、2015。
- 16)卜部浩一：十勝川水系札内川における二次流路の環境特性、北水試研報、no. 88、pp. 33-42、2015。
- 17)有賀望、鈴木俊哉：豊平川のサケ産卵床における環境条件と浮上までの生残率、SALMON情報、no. 3、pp. 3-5、2009。
- 18)国土交通省：気象庁過去の気象データ  
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrm/index.php>(2017年11月27日確認)
- 19)笠原玉青：河川間隙水域、河川生態学(中村太士編)、講談社、pp. 198-205、2013。
- 20)野川秀樹：さけます類の人工ふ化放流に関する技術小史(序説)、水産技術、vol. 3、no. 1、pp. 1-8、2010。
- 21)関二郎：北海道太平洋沿岸域におけるサケ幼稚魚の摂餌特性と餌料環境に関する研究、さけ・ます資源管理センター研究報告、no. 7、pp. 1-104、2005。
- 22)梶山雅秀：サケ属魚類の発育と成長、魚と卵、no. 158、pp. 23-29、1989。

### 11.2.3 中小河川における環境の保全に資する河道計画・設計手法に関する研究

担当チーム：水環境研究グループ（自然共生研究センター）

研究担当者：萱場祐一、大石哲也、大槻順朗

#### 【要旨】

本研究は、河川計画・設計において、河川環境やこれに付随する河道設計技術に関して、定量的に判断できる支援ツールを開発し、新たな設計プロセスを構築することにある。平成 28 年度は、シミュレーション上で複数の河道地形案を検討する際に地形形状の変更を容易にするため、河道の 3 次元地形を迅速に処理可能な河道地形編集特化型ツールのプロトタイプを開発した。また、洪水による植物流出指標、魚類の総合的な生息場の良否を判定するツールを開発、実装を行った。平成 29 年度は、河道地形編集特化型ツールのプロトタイプの改良および環境評価ツールである植物流出評価ツールや魚類生息場評価ツールの改良・実装を行った。

キーワード：河道計画、環境評価、中小河川、シミュレーション、iRIC、ソルバー、EvaTRiP

#### 1. はじめに

河道計画の策定では、限られた時間の中で治水や環境にとって最適な計画とすることが求められている。この際、生物生息場に配慮した河道計画では、複数の河道形状（2次元や3次元地形）を比較検討したうえで、治水要件を満たし、かつ、地域の生物の生育・生息に最適な案を選択することが重要である（図 1）。また、この検討にあたっては、水工学・生態学をベースに河川改修時に生じる生物生息場の応答を定量的かつ迅速に予測することが欠かせない。そこで、平成 28 年度は、河道計画から設計までを一体的に行うための支援ツールの開発を目的として、まず、複数の河道形状の比較検討を行うため、①地形を 3 次元的に作成・処理できるツールを開発し、②生物生息場に配慮した河道計画を支援するため、生物生息場を定量的に評価できるツールを開発した。

平成 29 年度は、上記①で開発したツールの改良および上記②で開発した植物流出評価ツールおよび魚類生息場定量的評価ツールの改良を行った。

#### 2. 河道地形処理ツールの開発

##### 2.1 地形編集ツール (RiTER) の開発

生物生息場に配慮した多自然川づくりの取り組みでは、河道の計画段階において様々な河道の縦・横断形の検討がなされる。これまでにも模型を用いた検討からシミュレーションでの検討とより動的かつ検討時間の短縮化が可能になったが、解析に利用する地形格子形状の編集作業に手間がかかっている。複数案の河道形状を検討すること自体は、非常に有意義であるが実作

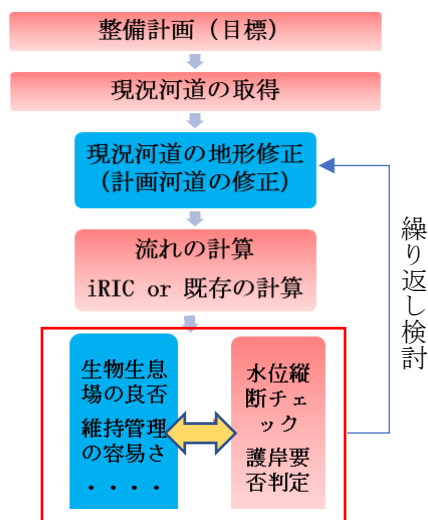


図 1 河道計画の考え方

平成 28、29 年度は青色部分を実施

業に時間がかかりすぎると、より良い案を見出し難くなる可能性が高い。そこで、シミュレーションにより河道地形を編集する際に、現場の技術者が河道の地形（2次元、3次元格子データ）をパソコン上で容易に編集するための特化型のツールを開発している。平成 28 年度は、3次元地形編集ツールのプロトタイプを開発を行った（図 2）。座標点の格納されている地勢データ（.tpo形式）を読み込み、地形を 3 次元的に表現するために TIN（不規則三角形網:Triangulated Irregular Network）を作成する。編集では、別途設定した任意の地形形状を利用して TIN の編集が可能となる。例えば図 2 に示すように、上に凸型の地形を左岸上流側に盛土したような形状が追加され、3次元画面で確認することが可能となる。

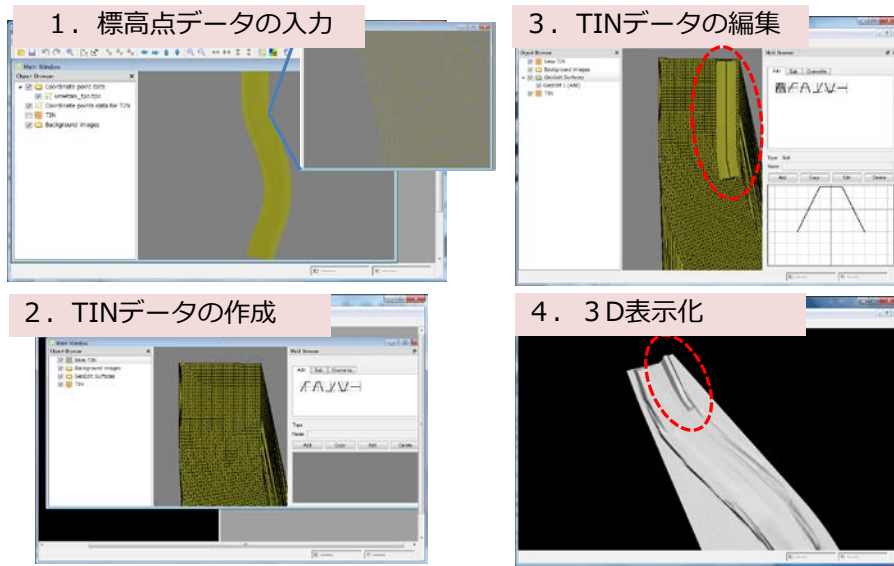


図2 地形編集ツールの概要

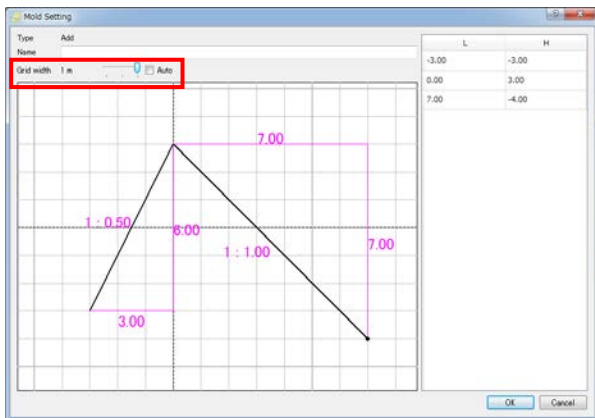


図3 切り口形状編集ダイアログ（格子線幅変更機能）

## 2.2 地形編集ツール (RiTER) の改良

平成29年度は、プロトタイプの操作性をより充実するため、1) 切り口形状編集機能の拡張、2) 経路形状の変更機能の追加、3) 地形処理機能の改善、4) ガイド表示機能の追加を行った。

### 2.2.1 切り口形状編集機能の拡張

切り口形状編集ダイアログにおいて、背景の格子線幅を1 m、10 cm、1 cmの3通りに変更・確認するためのスライダーを追加した(図3)。また、格子幅を表示領域に応じて自動調整する機能(チェックボックス)を追加した。

### 2.2.2 経路形状の変更機能の追加

経路編集ダイアログに Edit all columns チェックボックスを設置し、列の一括編集機能を追加した。Edit all columns をチェックした状態でセルを編集すると、同じ列のセルの値が一括で編集される。図4に、標高

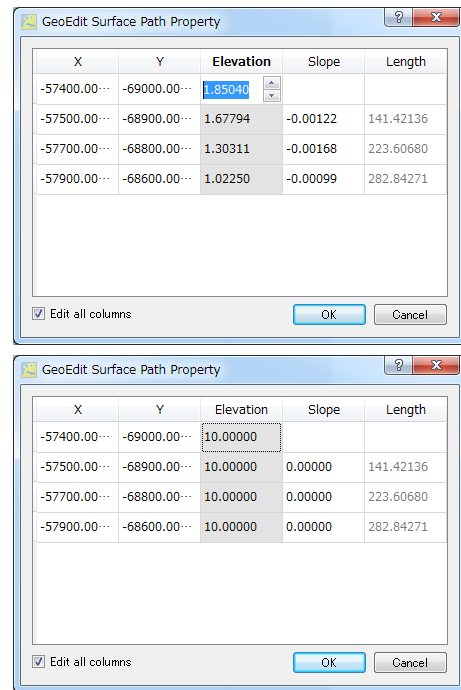


図4 経路編集ダイアログ 標高の一括編集例  
(上図：操作前、下図：操作後)

を一定値に揃える操作例を示す。また、勾配の列を一括編集することで、端点の標高及び勾配から、経路上の各頂点の標高を編集することが可能となる。図5に勾配の列を一括編集する操作例を示す。

### 2.2.3 地形処理機能の改善

#### (1) 現況地形外への「地形処理」追加時の動作改善

現況地形の外側に出た位置に「地形処理」を追加した場合にエラーが出るなどの不具合が発生していた。そのため、経路頂点の標高が近傍の標高に従った値で正

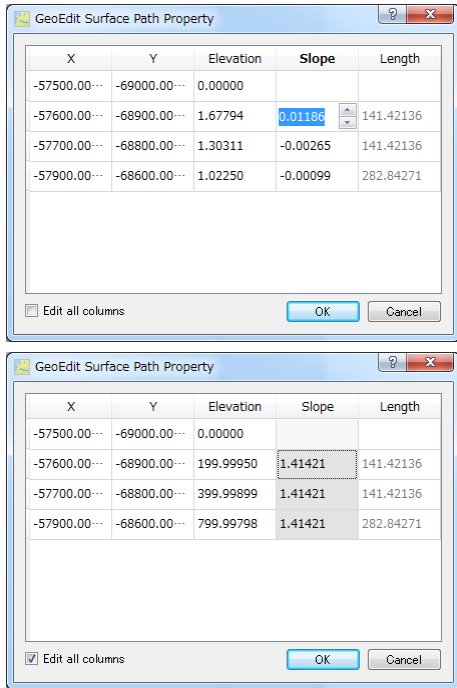


図 5 経路編集ダイアログ 勾配の一括編集例  
(上図：操作前、下図：操作後)

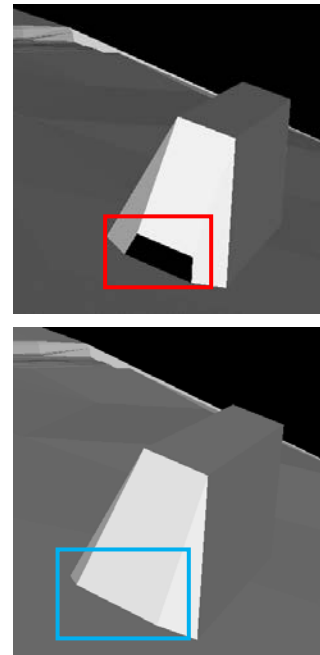


図 7 垂直断面の抑制機能例  
(上図：改良実施前（赤線：エラー発生）、  
下図：改良実施後（青線：改善状況）)

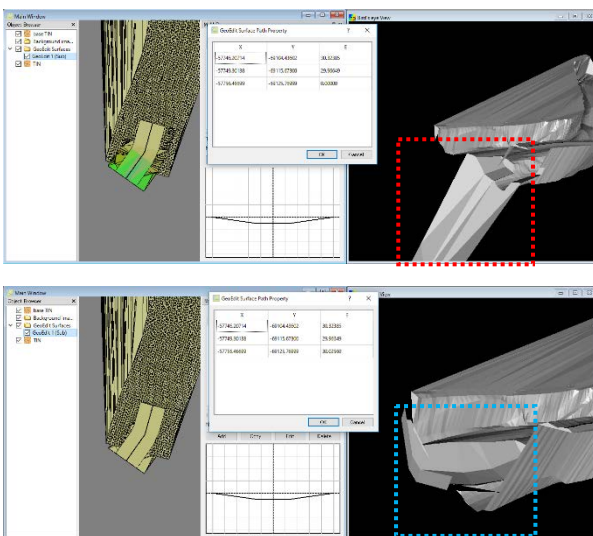


図 6 現況地形の外側への「地形処理」実施例  
(上図：改良実施前（赤点線：エラー発生）、下図：  
改良実施後（青点線：改善状況）)

常に作成されるよう改良した。プログラム改良を実施する前の操作例と、改良実施後の例を図 6 に示す。

(2) 垂直断面発生抑制

「地形処理」を追加する際、垂直断面が存在することによるエラーの発生を抑えるため、自動的に地形処理形状を延長する機能を利用し、垂直断面が発生しなくなるように改良を行った。プログラム改良前の操作例と、改良実施後の例を図 7 に示す。

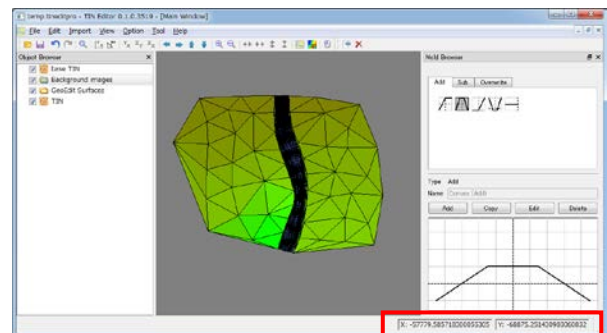


図 8 マウスカーソル座標表示の追加

2. 2. 4 ガイド表示機能の追加

(1) 描画領域上のマウスカーソルの座標

ウィンドウ右下にマウスカーソルの指す地点の座標表示を追加した (図 8)。

(2) 距離・勾配等 (地形処理の経路)

距離・標高・角度を表示する機能を追加した。表示のフォントサイズは、設定 (Option>Preferences) により変更可能である。角度の基準線は、右クリックメニュー内の Edit reference lines より変更できる (図 9)。

(3) 距離・勾配 (切り口形状)

距離・勾配を表示する機能を追加した (図 10)。表示のフォントサイズは、設定 (Option>Preferences) により変更できる。

2.3 今後の三次元地形編集ツール (RiTER) の開発

今後も引き続き 3 次元で開発するプロトタイプ (RiTER 3D) の改良を行うとともに、中小河川の災害時などの緊急を要する河川改修時にも対応できる中小河川改修支援ツールとして、横断面・平面図・縦断面図を PC 上で操作し、速やかに河川改修計画の作成が出来る機能のより実務に対応できる 2 次元ソフトウェア (RiTER Xsec) の開発を進めていく。RiTER Xsec については、iRIC 事務局である iRIC UC と協力しながら iRIC のプリプロセッサに搭載することで使用者数の拡大を狙うものである。平成 30 年度以降の開発構成(案)は表 1 の通りである。

3. 環境評価ツールの開発

3.1.1 植物流出指標ツールの開発

河道内における植物の応答・予測技術を向上させ、維持管理軽減化の一助とするため、洪水に伴う植物の繁茂や流出を評価する指標を自然共生研究センター開発の環境評価ツール (EvaTRiP) に組み込んだ。植物の流出評価に関しては、田中ら<sup>1)</sup>が提案する流出評価指標  $WOI (= \tau_{*90} / \tau_{*c90})$  を使用した。 $\tau_{*90}$ 、 $\tau_{*c90}$  はそれぞれ

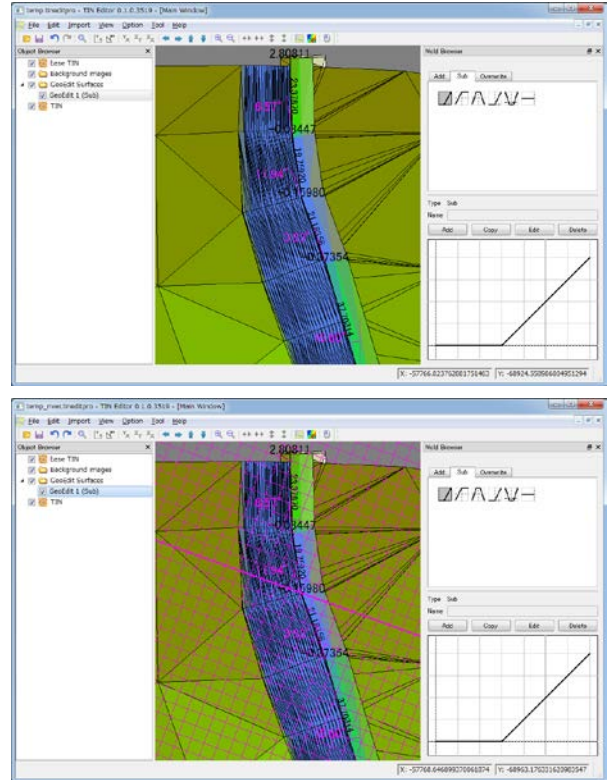


図 9 「地形処理」の補助表示例 (上図)、角度表示の基準線編集例 (下図)

表 1 RiTER 開発仕様案 (3D + Xsec)

<b>RiTER 3D</b>	
TIN ベースの編集機能 (3D) 強化	
CommonMP 対応のエクスポート機能追加	
シェープファイルのインポート機能追加	
シェープファイルのエクスポート機能追加	
<b>RiTER Xsec</b>	
横断面ベースの編集機能 (Xsec) 強化	
横断面図上での断面編集機能追加	
ポリラインの作成・編集機能追加	
「水位ファイル」インポート機能の改良	
ポリライン・横断線の交点表示機能追加	
水位データの表示機能追加	
背景画像のジオレファレンス機能の拡充	
縦断面図の表示機能追加	
グリッドの表示機能追加	
横断面ベースの編集機能 (Xsec) 強化	
「参考情報」用の地理情報グループの追加	
ポリゴンのグループとしてインポート機能追加	
河川測量データのコピー機能の追加	
横断面ウィンドウへの寸法表示機能の追加	
地形編集機能の拡充	

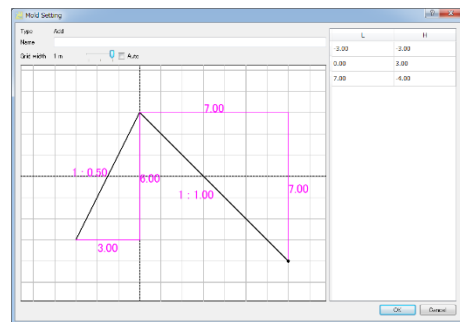


図 10 「切り口形状」補助表示例

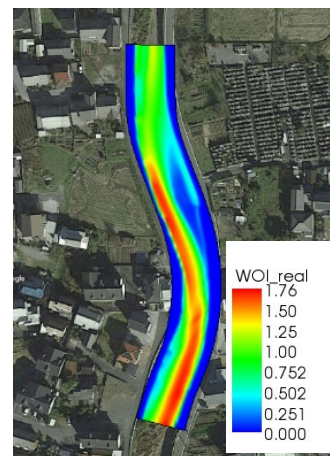


図 11 WOI 指標を用いた解析結果 (例)

90%粒径の無次元掃流力、無次元限界掃流力である。同指標は、 $WOI > 1$  になると草本の流出が生じることが報告されている。図 11 は、岐阜県梅谷川で流量  $35 \text{ (m}^3/\text{s)}$  を与えた結果であるが、出水時にみお筋で 1 を上回り、それ以外で 1 を下回る傾向にある。1 を下回った砂州では植物が多いことが写真から見て取れる。

### 3. 1. 2 植物流出指標ツールの改良

平成 29 年度は、EvaTrip での計算結果として出力される植生発生の可能性（4 区分）について、粗度係数（4 区分）を出力できるように改良・実装させることで、ユーザーの使いやすさを向上させた。具体的には、ソルバ定義を更新し、区分ごとの粗度係数の値を入力できるようにした。更新後のソルバ定義ファイルによって表示される計算条件ダイアログの表示例を図 12 に示す。「マニングの粗度係数」のグループボックス内の 4 つの項目が、追加された項目である。

また、iRIC GUI に機能を追加し、計算結果の出力時に「地勢データファイル (\*.tpo)」を選択すると、tpo 形式で計算結果をエクスポートできるようにした（図 13）。

### 3. 2. 1 中小河川における一般魚種に対する総合的な生息場の良否のツールの開発

従来個別の魚種を対象に生息場評価を行ってきた PHABSIM（Physical HABitat SIMuration Model）では、魚類群集の生息場評価を行うための入力データの準備が困難であった。そこで、山口大学の関根教授と協力し、魚類の行動モード（摂餌、休息、逃避、産卵）や行動圏などの生態情報を加味した環境多様性の指標として「生態環境多様性指標 (Eco- Environmental Diversity)<sup>2)</sup>」を用いた魚類生息場を総合的に評価する DHABSIM (Diversity based HABitat SIMulation) の簡易バージョンを iRIC ツールとして開発・公開した(図 14)。同評価値は 0-1 の範囲で指標化され、0.8 を上回ると生息場としてのポテンシャルが高いとの検討結果がある<sup>2)</sup>。

### 3. 2. 2 中小河川における一般魚種に対する総合的な生息場の良否のツールの改良

iRIC 用としての開発・公開した DHABSIM について、平成 29 年度は以下の項目についてユーザーの使いやすさ向上を目的に改良を行った。

#### (1) DHABSIM の設定機能の改良

iRIC に搭載されている DHABSIM では、環境の多様性解析に使用する格子は、セルサイズを「行動圏[m<sup>2</sup>]」から自動的に計算して生成していた。これを改良し、自動計算されるセルサイズが適切でない場合に手動で設定できる機能を追加した（図 15）。

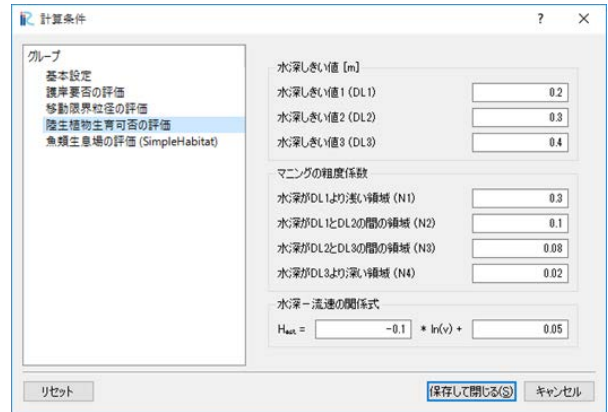


図 12 計算条件ダイアログ表示例

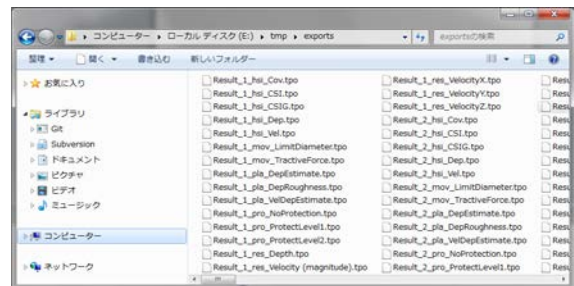
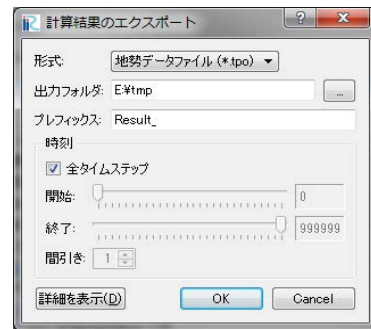


図 13 計算結果エクスポートダイアログ表示例 (上図)、エクスポート先フォルダのファイル一覧表示例 (下図)

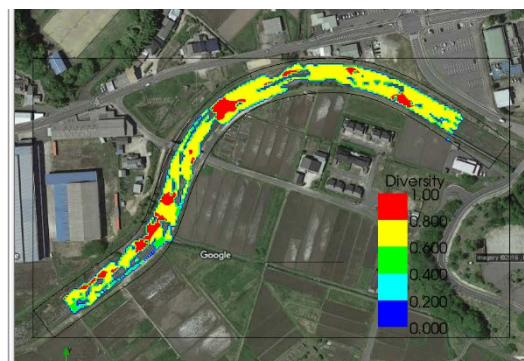


図 14 DHABSIM による環境解析結果 (例)

#### (2) EvaTRiP の設定・表示機能の追加

任意期間の評価値の算出として、以下の 2 種類の指標については、各タイムステップでの流速・水深に基づ

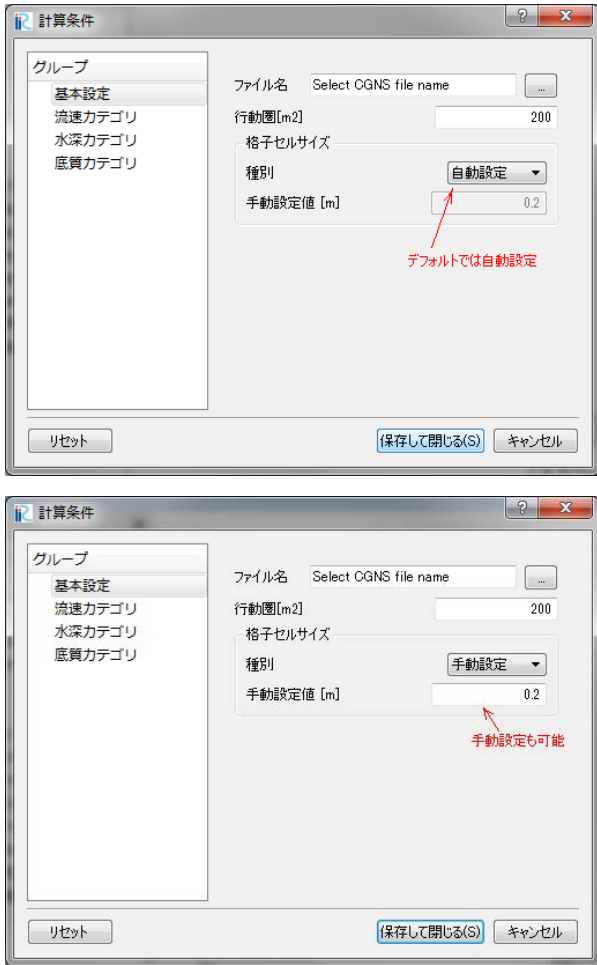


図 15 計算条件ダイアログイメージ

いて評価が行われていた。

→陸生植物の生育可否の評価

(pla\_DepEstimate, pla\_VelDepEstimate)

→魚類生息場の評価

(his\_Vel, his\_Dep, his\_CSI, his\_CSIG)

これを変更し、タイムステップの最終時 (t = 999999) にユーザが指定した期間での平均流速・平均水深に基いた評価結果を出力出来るように改良を行った。期間の開始時刻・終了時刻はデフォルトでは -1 とし、この場合は全期間の平均値を使用する。有効な開始時刻、終了時刻が指定された場合は、その期間の平均値

表 2 ソルバーごとの流量の出力方法  
および対応方法

No.	ソルバ名	出力方法	対応方法
1	Nays2DH	各タイムステップで、一つの値を Discharge (m <sup>3</sup> /s) の名前で出力	DischValues の値を読み込み、Discharge の名前で出力
2	Nays1Dp	各タイムステップで、全格子点で Discharge の名前で出力。値は全格子点で共通。	I = 1, J = 1 での値を読み込み、Discharge の名前で出力

を使用する。

グラフウィンドウへの流量 (Q) の表示機能の追加として、EvaTrip が入力に利用した計算結果に流量が含まれていた場合、計算結果をコピーして EvaTrip の計算結果でも流量の時間変化のグラフを表示できるように改良した。計算結果に含まれる流量の変数名はソルバーによって異なるため、Nays2DH と Nays1Dp での変数名を調査し、これのソルバーに対応させた (表 2)。

#### 4. まとめ

今後は、河川計画・設計において、河川環境やこれに付随する河道設計技術に関して、定量的に判断できる支援ツール(RiTER Xsec)を開発し、新たな設計プロセスを構築行う。自然共生研究センターで開発したEvaTriPの普及に向けた取り組みを積極的に行うとともに、RiTER 3DおよびRiTER Xsecの開発を進めるとともに、RiTERの公開および普及活動を積極的に実施する予定である。

#### 参考文献

- 1) 田中ら：樹木の洪水破壊指標と流失指標を考慮した砂礫州上樹林地の動態評価手法の提案，土木学会論文集B，Vol.66(4)，pp. 359-370，2010.
- 2) 伊藤ら：中小河川における魚類生息場評価のための生態環境多様性指数の提案，土木学会論文集G(環境)，Vol.72(1)，pp.1-11，2016.



### 11.3 治水と環境の両立を図る河道掘削技術・維持管理技術の研究

#### 11.3.2 魚類生息・産卵環境及び河道維持管理を考慮した低水路の河道掘削技術に関する研究

担当チーム：寒地水圏研究グループ（水環境保全チーム）

研究担当者：新目竜一、谷瀬敦、片岡朋子、布川雅典

##### 【要旨】

本研究は、魚類生息・産卵環境と河床地形・底質との関連性を評価・把握すると共に、維持管理上有利な河道掘削技術の開発を目指して低水路掘削河道の河床変動応答特性の把握を目的に実施している。平成29年度は、河道部分拡幅による河床変動応答を把握することを目的に移動床実験を実施した。今回の実験では、拡幅延長の違いにより、自由砂州（単列砂州）が拡幅によって形成された強制砂州の影響を受けずに一定速度で移動するのが観察された。また、平面二次元流況計算により、流量低下後の水深流速を把握した結果、側壁と自由砂州に挟まれた部分に深掘れ箇所が見られ、流速がほとんどみられない部分の形成が見られた。これは、水生生物の生息場や産卵場として重要な機能を有している alcove 地形が形成される可能性が示唆された。

キーワード：交互砂州の形成領域区分、強制砂州、alcove

#### 1. はじめに

河川の氾濫原には Off-channel habitat<sup>1)</sup> といわれる主流路以外の河床地形が多く存在していて、それらは河川生態系保全の観点で重要である。しかし、貯水池をとまなうダム建設<sup>2)</sup>や河川整備とともにこれらの河床地形を含む氾濫原は減少してきた<sup>3)</sup>。アメリカコロラド州を流れるコロラド川では、河道内の主流路以外の水表面積がダム建設前に比べて25-30%も減少した<sup>2)</sup>。

Off-channel habitat には side channel の他に backwater や alcove<sup>1,4)</sup>（写真-1）、我が国ではたまりやワンド<sup>7)</sup>と呼ばれる河床地形が含まれる。これらの河床地形は、砂州や河川の構造物等により隔てられ、一般に流速がないか、わずかに間隙水により涵養された流水が認められるような場所<sup>1)</sup>であり、水生生物の生息場あるいは産卵場として重要な場所である。Off-channel habitat の中でも alcove と呼ばれる主流路と砂州により隔てられているたまり状の地形<sup>1,4)</sup>は、魚類の生息場や産卵場として重要な機能を有していることが知られており、例えば、アメリカオレゴン州では、冬季の潜在的なギンザケ稚魚(*Oncorhynchus kisutch*)の生息場となっていること<sup>4)</sup>や札幌市豊平川ではサケ(*Oncorhynchus keta*)後期個体群の産卵場となっていること<sup>8)</sup>が報告されている。このようなことから、氾濫原が貧弱となった河川において健全な河川生態系の保全を考える上では、このような河床地形を創出することが重要である。

このような河床地形は河道内に成立した砂州と河岸との間に形成されることから、中規模河床形態<sup>9)</sup>の領域区分で複列砂州領域に該当する河道に多く存在することが知られている<sup>7)</sup>。この河床地形を創出させるためには

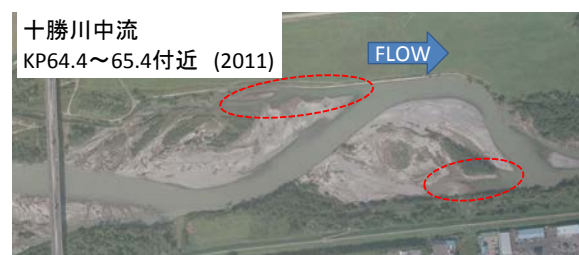


写真-1 alcove 地形の例 (国土地理院<sup>5)</sup> 6)

河道内に砂州を発生させることが必要であると考えられる。中規模河床形態の発生メカニズム<sup>7)</sup>から考えると、砂州の発生は川幅水深比によって決定されることから、複列砂州領域ではない河道でこのような河床地形を創出するには、河道を部分的に拡幅する方法が簡便だと考えられる。原田ら<sup>10)</sup>は扇状地の中小河川において、砂州非発生領域にあたる河道での部分拡幅が、固定砂州を形成させる手段として有効であることを数値実験によって示している。

河道の部分拡幅は、河川の流下能力向上目的や、洗掘により河床低下した河川の対策として実施されているが、河道掘削により多様な河床地形を創出でき、治水を主軸としつつ生態系に配慮した河川管理の潜在的展開の可能性を有している。しかし、部分拡幅でもたらされる河道内の砂州の変化について詳しく取り上げた知見は少ない。

このような背景から本研究では、達成目標③「治水と環境の両立を図る河道掘削・維持管理技術の開発」についての検討を通し、魚類の生息産卵環境に配慮し、河道維持管理に有利となる河道掘削手法の提案を最終目的とし

ている。

平成 29 年度 (2017 年度) は、単列砂州発生領域における河道を部分拡幅した際に生じる砂州形状の変動状況を調べるため、移動床実験を実施し、拡幅が河道内の砂州形状に与える影響について検討を行った。

## 2. 河道部分拡幅実験および流況計算

### 2. 1 実験概要

拡幅延長の違いによって形成される河床形状を把握するために、平坦床を初期河床とした移動床実験を実施した。実験の流量は出水時を想定しており、砂礫の洗掘および堆積によって創出される河床地形を把握した。次に、実験によって形成された河床地形に低流量を与えた際に alcove 形状が形成されているか確認するため、低流量時の水深および流速の空間的分布の把握を試みた。ただし、水深と流速を水路実験により面的に計測することは困難であるため、水路実験によって形成された河床を固定床とし、平面二次元流況計算により低流量時の水深と流速を把握することとした。

### 2. 2 実験方法

#### 2.2.1 実験水路

模型実験は、寒地土木研究所が所有する全長 50 m、流路幅 0.9 m、水面勾配 1/150 の直線水路を用いた。水路内の右岸側に流路幅 0.5 m となるように側壁を設置した。この側壁の一部を取り外すことで拡幅部とした。拡幅部は、下流端から 15 m を拡幅中心点とし、拡幅延長をそれぞれ拡幅無し (Case1)、河道幅の 5 倍の 2.5 m (Case2)、10 倍の 5.0 m (Case3)、15 倍の 7.5 m (Case4)、30 倍の 15 m (Case5) とした。実験ケースの一覧を表-1 に示す。初期河床には珪砂 4 号 (平均粒径 0.765 mm) を 0.1 m の厚さで平坦に敷き詰めた。

#### 2.2.2 実験条件

実験は、すべてのケースで通水中に上流端部の河床高が変動しないように珪砂 4 号を人力により給砂した。すべてのケースで流量は 0.003 m<sup>3</sup>/s とし、通水時間は 8 時間とした。流量設定は、石狩川水系豊平川の藻岩水位流量観測所における 2015 年および 2016 年の年最大流量<sup>12)</sup> の 2 カ年平均と同規模とした。黒木・岸の中規模河床形態の領域区分<sup>9)</sup>によると、初期条件において幅 0.5 m の区間 (拡幅無し) が単列砂州領域、幅 0.9 m の区間 (拡幅部) が複列砂州領域に位置する。

#### 2.2.3 通水中および通水後の計測

水路下流端から 10 m から 20 m までの範囲の水路上方に計 5 ヶ所設置したデジタルビデオカメラにより、拡幅部およびその上下流の砂州形状の変化を記録した。

通水中の河床形状には、光切断法を計測原理とする河床の高解像度な計測法 (Stream Tomography、以下 ST 法)

表-1 水理実験条件

Case	勾配	拡幅延長(m)	流量(m <sup>3</sup> /s)	通水時間(h)
Case1	1/150	0.0	0.0030	8.0
Case2	1/150	2.5	0.0030	8.0
Case3	1/150	5.0	0.0030	8.0
Case4	1/150	7.5	0.0030	8.0
Case5	1/150	15.0	0.0030	8.0

<sup>13)</sup>を用いて計測し、連続的な動画から縦断間隔 0.01 m で河床地形を 2 次元に数値化した。測定範囲は下流から 9.2 m から 19.3 m まで (Case5 については、6.8 m から 22.6 m まで) とし、通水後 4 時間、8 時間経過時の河床形状を計測した。

ST 法による計測は以下の手順で実施した。レーザー発生装置とデジタルビデオカメラを走行架台に載せ、レーザー光を横断的に水面とその下の河床面に照射する。ビデオカメラはレーザーを照射した横断面を斜め上から撮影するように設置する。走行架台の上でレーザーとビデオカメラの相対的な位置は変わらないように固定する。走行架台を水路の上流から下流へ縦断方向に移動させる。走行架台の縦断的な位置は、走行架台にもう 1 台設置したカメラで水路側面に貼り付けたメモリを撮影することで把握した。撮影した動画を静止画に分解し、レーザー光が照射した水面と河床面の位置を抽出し、水位と河床位の算定をした。

また、砂州の移動速度を把握するために、砂州が形成され始める 1 時間後から 30 分ごとに、砂州の前縁部の縦断位置を記録した。

#### 2.2.4 流量低下時の流況計算

流量低下時の水深および流速を把握するために、iRIC Nays2DH を用いて平面二次元流況計算を行った。河床形状は移動床実験で計測した 8 時間後のデータを用いた。流量は水路実験時の 1/6 である 0.0005 m<sup>3</sup>/s とした。マニングの粗度係数は 0.025 とし、計算格子サイズは縦断方向に 5 cm、横断方向に 2.5 cm とした。

## 2. 3 実験結果

### 2.3.1 砂州形状の変化

各ケースの ST 法による通水中の河床地形測定結果を、初期河床高からの変動量を算出し、コンターで表現したものを図-1 に示す。

拡幅部を設けない Case 1 では、単列砂州が明瞭に形成されていた。Case 1-4h (通水 4 時間経過時) と Case 1-8h (通水 8 時間経過時) を比較すると、Case 1-8h の方が初期河床からの変動量が若干大きいものの、砂州の波長はどちらも 4.2 m から 4.4 m 程度であった。

拡幅した全てのケースでは、共通して拡幅直後の両岸に砂の堆積が観測された。また、拡幅部の下流端では壁に沿って河床が洗掘され、拡幅部から直下流の右岸側に

砂が堆積した。

拡幅延長が河道幅の5倍のCase 2では、4時間目に拡幅部対岸の左岸側14.0 mから拡幅部に入る16.25 mの位置に砂州河床地形が見られた。実験の観察によると、この砂州はCase 1の交互砂州と同様に下流へ移動しており、8時間目にはその前縁部が15 mの位置にあった。拡幅部の右岸側には円弧状の河床地形が形成されており、その先端は8時間目に14.0 mくらいまで伸びていた。14.0 mから15.0 mの左岸付近には、円弧状の砂の堆積地形の先端と側壁に挟まれるように長さ1.0 m程度の筋状の深掘れが形成された。

拡幅延長が河道幅の10倍のCase 3を見ると、拡幅部右岸側の15.0 mから17.5 mにCase 2と同様の円弧状の河床地形が見られた。拡幅部の左岸側には、下流へ移動する砂州地形が形成された。また、alcoveになりうる筋状の深掘れは、Case 3-4hでは左岸側の15.0 mから17.0 mの範囲に、Case 3-8hでは14.5 mから16.0 mの範囲に見られた。

拡幅延長が河道幅の15倍のCase 4を見ると、Case 2およびCase 3と異なり、拡幅部右岸側の円弧状の地形は明瞭には形成されなかった。8時間目には、拡幅直後の16.0 mから18.5 mまで河道全体に河床が上昇し、そ

の上昇部と左岸側の側壁の間にはalcoveになりうる2.5 m程度の長さの筋状の深掘れが見られた。

拡幅延長が河道幅の30倍のCase 5を見ると、拡幅部全体で見ても砂州形状は不明瞭であり、変動量の大きいものは見られなかった。Case 4と同様に、拡幅部右岸側の円弧状の地形は形成されなかった。また、左右岸交互に砂の堆積部と側壁の間に発生する筋状の深掘れは複数箇所現れた。

### 2.3.2 砂州形状の変化

通水中に計測した砂州先端部の縦断位置を、通水時間ごとに縦に並列させたグラフを図-2に示す。砂州の移動速度を2.0 m/h以上、1.0 m/hから2.0 m/h未満まで、1.0 m/h未満の3つに区分し、3色の実線で示した。左岸もしくは右岸それぞれに1.5時間分以上の記録(3個以上のプロット)が1つの傾きを持った直線で結ぶことができるもののみ砂州の移動速度(波速)を当てはめている。移動速度の算出は縦断方向の移動距離から算出しており、横断方向の移動は考慮していない。傾きが縦に近いもの、もしくは砂州が上流へ後退しているものには波速を当てはめていない。黒い破線で囲んだのは水路拡幅部に該当する部分である。

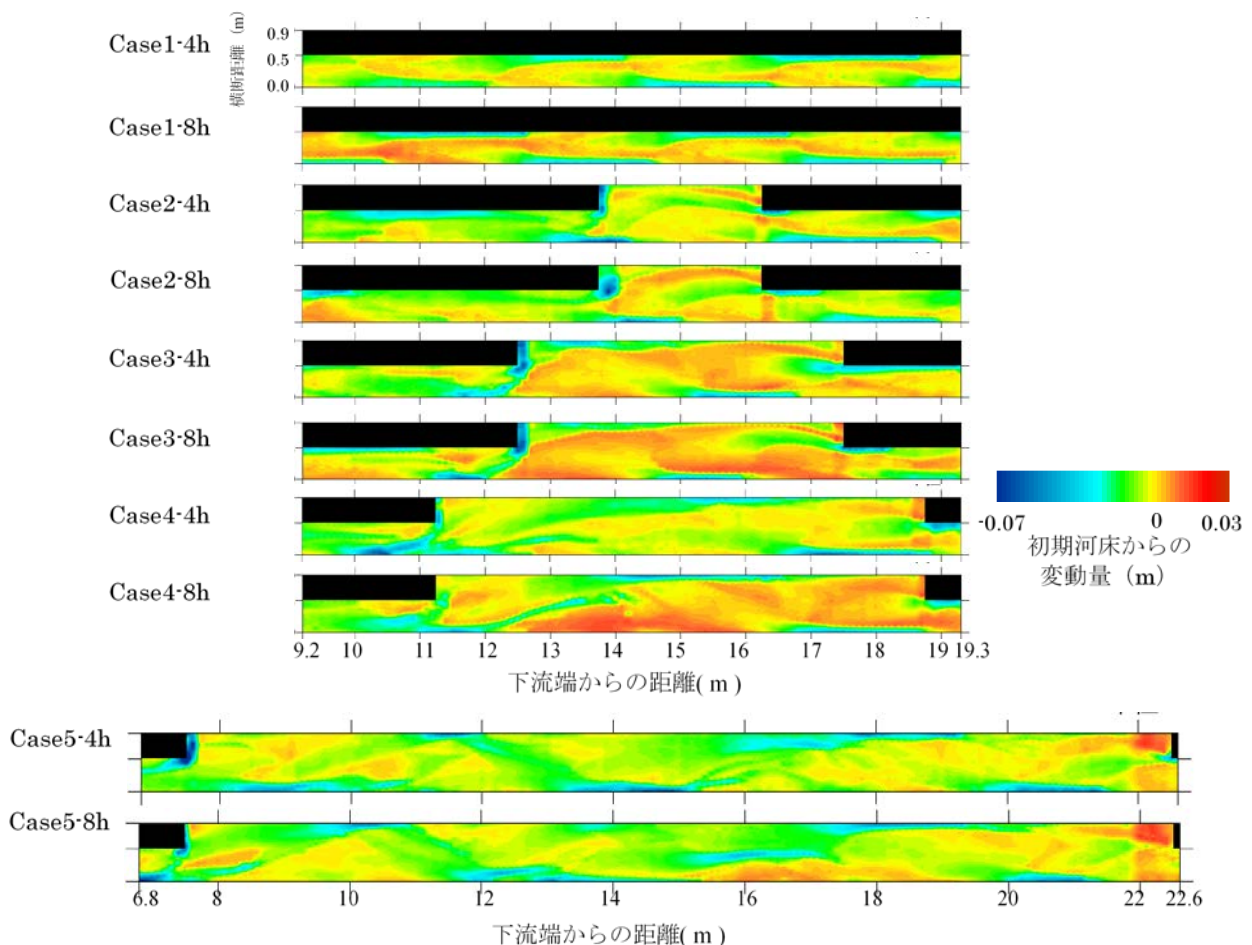


図-1 通水中の砂州地形の変化

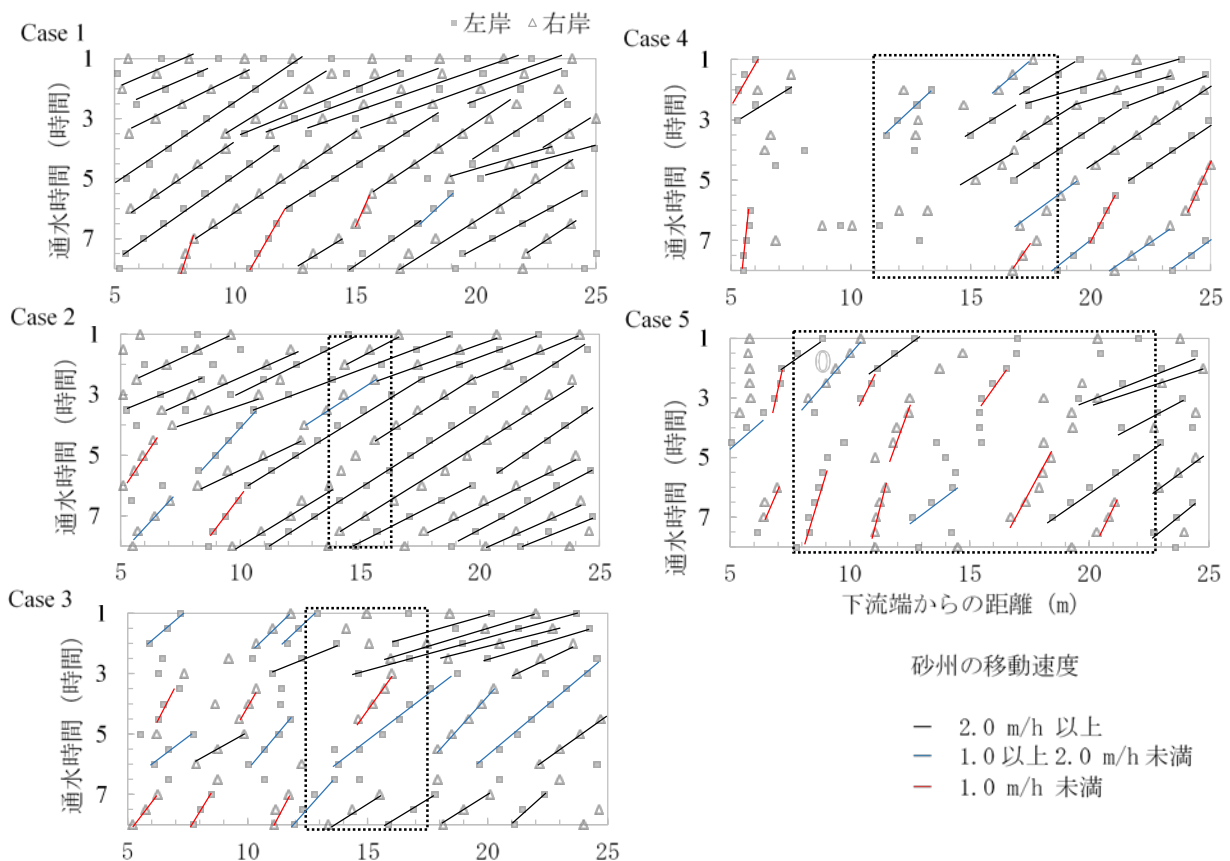


図-2 砂州の移動速度

拡幅なしの Case1 では水路全体を通して砂州の移動速度が 2.0 m/h 以上であった。Case2 では、拡幅部より下流側に移動速度の低下が見られたものの、Case1 と同様に水路全体で 2.0 m/h であった。Case3 では、水路全体で結んだ直線が短くなり、砂州の移動速度の変化もしくは砂州の後退、消失が考えられた。また、Case2 とは明らかに異なり拡幅部と拡幅部より下流部での移動速度の低下が見られた。一方、拡幅部の上流側では通水時間が 3 時間くらいまでほとんど 2.0 m/h で移動していた。3 時間から 6 時間までは速度が落ちたが、7 時間からは Case1 と非常によく似た移動速度となった。Case4 では、Case3 と同様に結べる直線が短くなり、移動速度の変化もしくは砂州の消失が考えられた。拡幅部より上流から 15.0 m 程度までは 2.0 m/h であったが、5 時間を境に 2.0 m/h 未満に移動速度が低下していた。Case5 では、移動速度は拡幅部では 1.0 m/h 未満、拡幅部より上流は 2.0 m/h 以上で、傾きが縦に近いもの、もしくは砂州が上流へ後退しているものが多く見られた。

### 2.3.3 流況計算結果

平面二次元流況計算により低流量時の水深と流速の面的な分布を示した結果を図-3 に示す。各ケースにおいて流量低下時の水深と流速を同じ位置で対応させると、各ケースで水深が 0.025 m 以上の範囲（水深が赤色で示さ

れる部分）と、流速が 0.01 m/s 以上の速い範囲（流速が白色で示される部分）、もしくは水深が無く（水深が青色で示される部分）流速も無い（流速が赤色で示される部分）という組み合わせが見られた。(1)で前述した Case2、Case4、Case5 で筋状の深掘れが見られた部分は、水深の赤色で表現されている。これらに対応する流速は、白色で表現される 0.01 m/s 以上となっている。alcove 地形のような水深が深く（水深が赤色で示される部分）流速が遅い（流速が赤色で示される部分）条件は、Case3 の図中 a で示した拡幅部の中央部分のみであった。この深掘れ部分を囲む砂州は、図-2 で示す砂州の移動速度でみると 2.0 m/h であることから、これは自由砂州であると考えられる。

### 2.4 考察

拡幅しない場合に単列砂州が形成される（図-1 の Case1-4h および Case1-8h）河道条件に対し、延長の異なる部分拡幅を行った。拡幅延長が河道幅の 5 倍の Case2 と 10 倍の Case3 では、拡幅部の中に形成された河床地形が、Case1 の単列砂州と似た形状となった。また、拡幅側の右岸には同様の円弧状の河床地形が見られ、形やその位置は大きくは変わらなかった。このことから、拡幅による平面形状の変化によって右岸側に強制砂州が生じ、自由砂州（単列砂州）が進入したことが考えられ

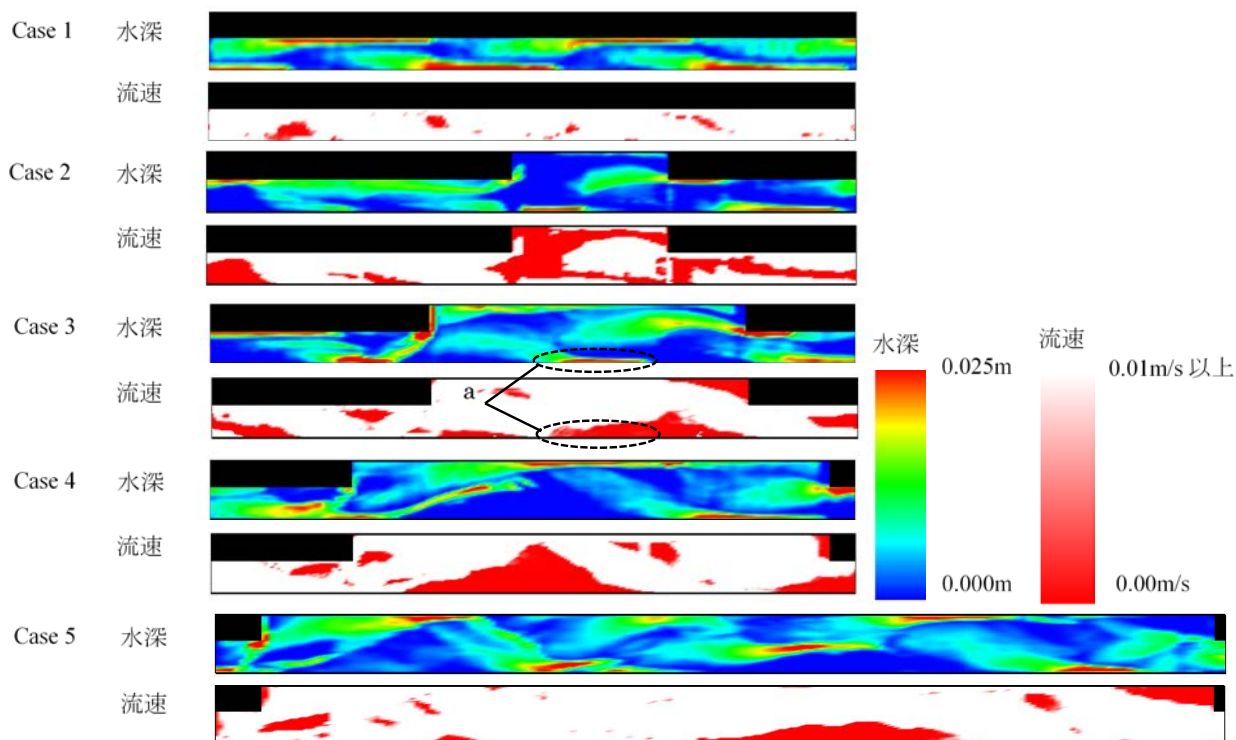


図-3 8時間通水後河床の流量低下時の水深および流速

る。河道幅の15倍であるCase4まで拡幅すると、前述のような明確な特徴は見られなかった。河道幅の30倍まで拡幅したCase5では河床地形が不明瞭となり、側壁と堆積した河床地形に挟まれた筋状の洗掘部分が複数現れ、流路が複雑になり、複列砂州に近い状態であったと考えられる。平面的な特徴でとらえると、Case4はCase5と、Case2およびCase3との中間の特徴であったと考えられる。

一方、図-2で示したような砂州の移動速度からはCase2がCase1とほとんど変わらない2.0 m/h以上となっていることがわかる。Case1で発生した自由砂州の移動速度が2.0 m/h以上であることから、河道幅の5倍程度の拡幅では、強制砂州が生じて自由砂州はそれ自体の移動速度を保って流下していることが考えられる。また、Case5の結果から、全幅を拡幅した場合は1.0 m/h未満の砂州移動速度であると考えられる。Case3は、砂州の移動速度から見るとCase2に近いが、通水時間が3時間から6時間まで移動速度が落ちたのは、強制砂州に自由砂州が進入した影響である可能性があった。

原田ら<sup>10)</sup>は、砂州非発生領域での固定砂州形成を検討した結果、今回の実験ケースCase2・4hに最も近い条件の1/200勾配、川幅の4倍の拡幅によって中州が形成される結果を示している。本研究と異なる点は、自由砂州が発生せず、強制砂州の影響のみに限られるということであり、彼らの示した中州は拡幅部対岸の強制砂州であったと言える。Case2・4hでは、拡幅部の両岸に堆積

した河床地形が認められた。彼らの結果と本実験では、中規模河床形態発生領域が異なるために単純には比較できないが、拡幅部対岸（左岸）には自由砂州、拡幅部側（右岸）には強制砂州が形成され、強制砂州の形成された位置が異なっていた。

また、alcove地形が形成されたのは、河道幅に対する拡幅延長が10倍程度で、側壁と自由砂州に挟まれた部分に深掘れが生じ、流量低下したのちにはalcoveと見られる形状が確認された。なお、深掘れは拡幅したいずれのケースでも確認されたことから、今回の実験とは異なる流量条件や通水時間では、拡幅延長が10倍程度以外でもalcove形状の形成について可能性があり、今後検討の必要があると考える。

今後は掘削パターンによる河道応答の違いについての研究を掘り下げ、河道維持管理を考慮した河道掘削技術の開発に発展させていく予定である。

## 5. まとめ

本研究は、河道部分拡幅による河床変動応答を把握することを目的に移動床実験を実施し、拡幅延長によって拡幅部に形成される河床地形の違いがあることを確認した。また、今回の実験条件では河道幅に対する拡幅延長が10倍程度で、側壁と自由砂州に挟まれた部分に深掘れが生じ、流量低下したのちにはalcoveが形成された。拡幅延長が異なるケースでもalcove形状が形成される可能性が示唆された。

## 参考文献

- 1) Landers, D., Fernald, A. and Andrus, C.: Off-channel habitats In The Pacific Northwest Ecosystem Research Consortium (David Hulse, D., Gregory, S. and Baker, J. Edit), pp. 26-27, Oregon State University Libraries and Press, 2002.
- 2) Van Steeter, M. M. and Pitlick, J.: Geomorphology and endangered fish habitats of the upper Colorado River 1. Historic changes in streamflow, sediment load, and channel morphology, Water Resources Research, Vol. 34, No. 2, 1998.
- 3) 永山滋也, 原田守啓, 萱場祐一: 高水敷掘削による氾濫原の再生は可能か? 自然堤防帯を例として, 応用生態工学, Vol.17, No.2, pp.67-77, 2015.
- 4) Nickelson, T. E., Rodgers, J. D., Johnson, S. L. and Solazzi, M. F.: Seasonal Changes in Habitat Use by Juvenile Coho Salmon (*Oncorhynchus kisutch*) in Oregon Coastal Streams, Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, Vol.49, pp.783-789, 1992.
- 5) 国土地理院, 地図・空中写真閲覧サービス, <http://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1>, 2016.
- 6) 矢野雅昭, 布川雅典, 谷瀬敦: 中規模河床波発生領域による alcove 形成条件に関する数値計算, 土木学会北海道支部論文, Vol.73, 2017.
- 7) 萱場祐一, 傳田正利, 島谷幸広: 千曲川におけるワンドの実態とその特徴に関する基礎的研究, 環境システム研究, Vol. 25, pp.611-616, 1997.
- 8) 片岡朋子, 布川雅典, 谷瀬敦: 豊平川中流部における小規模掘削によるサケ産卵環境の創出, 国土交通省北海道開発局第 61 回 (平成 29 年度) 北海道開発技術研究発表会論文
- 9) 黒木幹男, 岸力: 中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究, 土木学会論文報告集, 第 342 号, p.87-98, 1984.
- 10) 原田守啓, 高岡広樹, 大石哲也, 萱場祐一: 扇状地の中小河川における部分拡幅工法の有効性, 河川技術論文集, Vol.21, pp.253-258, 2015.
- 11) 山口昌志, 柿沼考治, 井上卓也, 清家拓哉, 加藤一夫: 軟岩洗掘を考慮した大型模型実験を用いた河床低下対策手法の評価について, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.73, No.4, pp.I\_853-I\_858, 2017.
- 12) 国土交通省: 水文水質データベース, <http://www1.river.go.jp/>
- 13) 五十嵐 拓実, 安田 浩保: 流路変動の発達機序の解明に向けた水表面と水底面の曲面形状の対応関係の把握, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.4, pp.I\_1123-I\_1128, 2018.